Environnement Canada
Environment Canada

MÉTHODES DE LABORATOIRE POUR L'ANALYSE DE SÉDIMENTS

SECONDE ÉDITION

Canada

SECTION DE L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS

MÉTHODES DE LABORATOIRE POUR L'ANALYSE DES SÉDIMENTS

SECONDE ÉDITION

Direction générale des eaux intérieures
Direction des ressources en eau
Section de l'étude des sédiments
Ottawa
Juillet 1988

90-02379/

PRÉFACE

La Direction des ressources en eau du ministère de l'Environnement est responsable du programme national de collecte, d'analyse et de diffusion des données quantitatives sur les eaux. Elle est également chargée de fournir renseignements et conseils à cet égard pour les eaux intérieures canadiennes. Ces données quantitatives, ou données hydrométriques, concernent principalement le niveau d'eau, le débit et le transport des sédiments.

Les manuels pratiques et théoriques servent à définir et à décrire les méthodes et pratiques usuelles que doit observer le personnel pour la collecte, le traitement, le calcul et la publication des données relatives aux eaux de surface.

Quant aux manuels sur les sédiments, ils servent de matériel didactique de base aux techniciens de la Division des relevés hydrologiques du Canada dans le cadre du Programme de formation professionnelle. Les normes définies dans les manuels reflètent les méthodes et pratiques les plus avancées au moment de la publication, et elles peuvent donc être éventuellement modifiées.

PREFACE

The Water Resources Branch of the Department of Environment is responsible for the national program of collecting, analyzing and disseminating water quantity data and for providing information and advice concerning this aspect of Canada's inland waters. Water quantity or hydrometric data consist mainly of water levels, flows and sediment transport.

Field and Office Manuals are prepared to define and describe standard procedures and practices to be followed by the personnel in the collection, processing, computing and publication of surface water data.

Sediment Manuals are used as basic training aids by Water Survey of Canada technicians who are progressing through their career development program. Standards defined within the manuals reflect the optimum procedures and practices in their time and therefore, cannot be considered static.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
	PRÉFACE	iii
1.	INTRODUCTION	1
2.	DÉFINITIONS	2
2.1	Définitions des termes et expressions	2
3.	CHIFFRES SIGNIFICATIFS, UNITÉS ET CLASSIFICATION	6
3.1	Chiffres significatifs	6
3.2	Unités de concentration	6
3.3	Classification des matériaux	7
4.	MÉTHODE POUR L'ANALYSE DE LA CONCENTRATION	8
4.1	Analyse de la concentration	8
4.2	Programmation des échantillons	9
4.3	Analyse des matières dissoutes	9
4.3.1	Choix des échantillons pour l'analyse des matières dissoutes	10
4.4	Méthode de la filtration	11
4.4.1	Méthode de préparation des creusets pour la méthode de filtration	11
4.4.2	Équipement de laboratoire pour la méthode de filtration	12
4.4.3	Méthode d'analyse par filtration	12
4.4.4	Calculs pour l'analyse par filtration	13
4.5	Méthode d'évaporation	16
4.5.1	Équipement de laboratoire pour la méthode d'évaporation	16
4.5.2	Méthode d'analyse par évaporation	16
4.5.3	Calcul pour l'analyse par évaporation	17
4.6	Relevé des résultats de l'analyse de la concentration	19
5.	MÉTHODE POUR L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	21
5.1	Analyse granulométrique	21
5.2	Méthode du tube d'extraction ou de prélèvement de fond	22
5.2.1	Équipement de laboratoire pour la méthode du tube de prélèvement de fond	23
5.2.2	Étalonnage du tube de prélèvement de fond	24
5.2.3	Préparation des échantillons pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond	25
5.2.4	Méthode d'analyse des matières dissoutes	25
5.2.5	Préparation pour la méthode du tube de prélèvement de fond	26
5.2.6	Dispersion de l'échantillon d'analyse par tube de prélèvement de fond	26
5.2.7	Technique d'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond	27
5.2.8	Méthode d'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond	28
6.	RELEVÉ DES DONNÉES RELATIVES AU TUBE DE PRÉLÈVEMENT DE FOND	30
6.1	Calcul des données pour l'analyse par tube de prélèvement de fond	30

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

		Page
7.	COURBE D'ODÉN	33
7.1	Théorie d'ODÉN pour la décantation des particules	33
7.2	Tracé manuel de la courbe d'ODÉN	34
7.3	Courbe de la répartition granulométrique	37
7.4	Calcul interactif de la répartition granulométrique	38
7.4.1	Méthode pour le BWTA SYSTEM	38
7.4.2	Accès au BWTA SYSTEM	38
7.4.3	Pour ajouter un ou plusieurs échantillons au fichier principal	40
7.4.4	Pour corriger un ou plusieurs échantillons du fichier principal.	46
7.4.5	Pour effacer un ou plusieurs échantillons dans le fichier principal	48
7.4.6	Obtention du tracé d'un ou de plusieurs échantillons du fichier principal	49
7.4.7	Initiation d'un nouveau fichier principal annuel	50
7.4.8	Impression de données du fichier principal	51
7.4.9	Obtention d'une liste résumée des échantillons du fichier principal	53
7.4.10	Rappel du fichier principal pour une année donnée	54
8.	MÉTHODES POUR L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE D'ÉCHANTILLONS DE MATÉRIAUX DE CHARRIAGE	55
8.1	Analyse des matériaux de charriage	55
8.2	Analyse par hydromètre	56
8.2.1	Équipement pour l'analyse à l'hydromètre	57
8.3	Agent dispersant et correction	57
8.4	Étalonnage de l'hydromètre	58
8.5	Correction pour le ménisque	61
8.6	Analyse à l'hydromètre	62
8.6.1	Méthode de l'analyse à l'hydromètre	62
8.7	Utilisation d'une table nomographique	66
8.8	Relevé des résultats de l'analyse à l'hydromètre	68
8.9	Analyse au tamis par voie humide	72
8.9.1	Méthode pour l'analyse au tamis par voie humide	72
8.10	Analyse au tamis à sec	72
8.10.1	Méthode pour l'analyse au tamis à sec	75
8.10.2	Relevé des résultats de l'analyse au tamis à sec	75
8.11	Résultats pour les matériaux de charriage : sommaire	78
9.	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE D'ÉCHANTILLONS DE CHARRIAGE DE FOND	80
9.1	Équipement d'analyse pour le charriage de fond	80
9.2	Méthode d'analyse pour le charriage de fond	80
	RÉFÉRENCES	84

TABLEAUX

		Page
1.	Facteur pour convertir des parties par million en milligrammes par litre	6
2.	Grosseurs, concentrations d'analyse et quantités proposées pour les méthodes courantes d'analyse granulométrique de sédiments	7
3.	Programmes de temps écoulé pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond	27
4.	Programme de temps écoulé prolongé pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond	28
5.	Temps requis pour la décantation en minutes, à utiliser avec la courbe d'Odén	36
6.	Analyse granulométrique à l'aide du tube d'extraction de fond	52

ILLUSTRATIONS

		Page
Figure 1.	Diagramme de l'analyse de la concentration.....	8
Figure 2a	Feuille de données de laboratoire pour la méthode de filtration.....	15
Figure 2b.	Feuille de données de laboratoire pour la méthode d'évaporation.	18
Figure 3.	Carnet d'opérations sur le relevé des sédiments et résultats des analyses au laboratoire.....	20
Figure 4.	Diagramme de l'analyse granulométrique.....	21
Figure 5.	Limites des méthodes d'analyse granulométrique.....	22
Figure 6.	Tube de prélèvement de fond.....	23
Figure 7.	Analyse granulométrique par tube de prélèvement de fond.....	30
Figure 8.	Exemple de formule remplie pour l'analyse granulométrique par tube de prélèvement de fond.....	32
Figure 9.	Courbe d'Odén.....	34
Figure 10.	Courbe d'Odén, fractionnée en segments.....	35
Figure 11.	Courbe de la répartition granulométrique.....	37
Figure 12.	Diagramme d'analyse des matériaux de charriage.....	55
Figure 13.	Analyse, à l'aide de l'hydromètre, des matériaux de charriage..	59
Figure 14.	Diagramme de l'analyse à l'hydromètre.....	62
Figure 15.	Table de correction pour la température.....	65
Figure 16.	Table nomographique pour la résolution de l'équation de Stokes.	67
Figure 17.	Analyse à l'hydromètre et analyse au tamis après analyse à l'hydromètre.....	70
Figure 18.	Courbe de répartition granulométrique des matériaux de charriage.....	71
Figure 19.	Diagramme de l'analyse des matériaux de charriage, au tamis par voie humide.....	73
Figure 20.	Diagramme d'analyse des matériaux de charriage sur tamis à sec.	74
Figure 21.	Analyse des matériaux de charriage au tamis à sec.....	76
Figure 22.	Courbe de répartition granulométrique pour les matériaux de charriage.....	77
Figure 23.	Résultats de l'analyse des matériaux de charriage.....	79
Figure 24.	Résultats de l'analyse du charriage de fond.....	82
Figure 25.	Courbe de la répartition granulométrique du charriage de fond..	83

1. INTRODUCTION

Le présent guide a été rédigé par M.A. Cashman, agent des normes pour l'étude des sédiments, et approuvé par T.J. Day, chef de la Section de l'étude des sédiments, de la Division des relevés hydrologiques du Canada. Il contient la description des méthodes d'analyse en laboratoire d'échantillons de sédiments fluviaux, et renferme les instructions détaillées pour assurer le respect des normes nationales et une certaine uniformité dans l'ensemble des Laboratoires sédimentologiques de la Division des relevés hydrologiques du Canada, pour ce qui est de ces méthodes.

Tout le personnel chargé de l'analyse des échantillons de sédiments fluviaux doit appliquer les méthodes décrites ici.

Nous remercions le personnel des Laboratoires sédimentologiques de la Direction générale des eaux intérieures pour leurs commentaires et leur assistance lors de la préparation des diverses sections du présent manuel. Nous remercions également J.L. McIlhinney qui a participé à l'élaboration des instructions pour le programme BWTA.

Le présent manuel est pour usage interne à la Direction des ressources en eau. Il peut, cependant, être distribué à des organismes de l'extérieur à titre d'information générale, étant bien entendu que les instructions qu'il renferme peuvent être modifiées sans préavis.

C'est la seconde édition du manuel des Méthodes de laboratoire pour l'analyse des sédiments, et elle remplace toute édition précédente. Seules des modifications mineures ont été apportées à cette édition. Son utilisation pourrait amener des propositions en vue d'une révision éventuelle de certaines méthodes. Nous serons heureux de toutes propositions de cette nature et les examinerons avec soin lors de la préparation, le cas échéant, d'une édition révisée du manuel.

2. DÉFINITIONS

2.1 Définitions des termes et expressions

Les définitions suivantes doivent servir à clarifier les termes et expressions utilisées dans le présent document:

Analyse à l'aide du tube d'extraction (ou de prélèvement) de fond : méthode pour déterminer la répartition granulométrique dans un échantillon de sédiments en suspension.

Analyse au crible : méthode permettant de séparer des matières de granulométrie différente grâce à un nid de cribles à secousses, animé de mouvements latéraux et verticaux.

Analyse granulométrique : étude de la répartition des particules dans un échantillon de sédiments, selon leur grosseur.

Analyse par évaporation : méthode d'évaporation d'un liquide par chauffage, avec obtention d'un dépôt sec de matières dissoutes ou en suspension.

Analyse par filtration : méthode dans laquelle on fait passer un liquide à travers un milieu poreux pour séparer les matières solides en suspension.

Charge de sédiments : poids de matières solides déplacées par un cours d'eau et passant à travers la section transversale par unité de temps.

Charge de sédiments en suspension : fraction de la charge de sédiments qui se trouve en suspension.

Charge de ruissellement : partie du débit total de sédiments, qui est composée de particules plus fines que celles présentes en quantités appréciables dans les matériaux du lit.

Charge dissoute : ensemble des matériaux d'un cours d'eau qui sont transportés à l'état dissous.

Charriage de fond : matériaux roulés ou poussés sous l'action de l'eau, mais qui restent en contact presque permanent avec le fond.

Concentration des matières dissoutes : rapport du poids de constituants dissous au volume d'eau, exprimé ici en «milligrammes par litre» (mg/L).

Concentration des sédiments en poids : rapport du poids de sédiments secs dans un mélange eau-sédiments au poids de mélange. Cette concentration, lorsqu'elle est déterminée en parties par million (ppm), peut être convertie en mg/L (tableau 1).

Débit charrié : masse du charriage de fond traversant la section transversale d'un cours d'eau par unité de temps.

Débit des sédiments : masse ou volume de sédiments traversant une section transversale d'un cours d'eau par unité de temps. L'expression peut désigner le débit de sédiments en suspension, le débit charrié ou encore le débit total de sédiments.

Débit mesuré des sédiments en suspension : débit qu'on peut calculer à partir du débit du cours d'eau et de la concentration de l'échantillon, déterminée par échantillonnage intégré en fonction de la profondeur.

Débit non mesuré de sédiments : différence entre le débit total de sédiments et le débit mesuré de sédiments en suspension.

Débit total de sédiments : somme du débit de sédiments en suspension et du débit charrié.

Dispersion chimique : mélange eau-sédiments obtenu par défloculation avec un agent chimique, comme le Calgon.

Dispersion mécanique : mélange eau-sédiments obtenu mécaniquement, sans l'aide d'un agent de défloculation.

Eau désionisée : eau qui a passé à travers un ou plusieurs lits de résines échangeuses d'ions, avec lesquelles les ions contaminants de l'eau ont une certaine affinité.

Échantillon de sédiments : quantité d'un mélange eau-sédiments ou de sédiments déposés, prélevée pour déterminer les caractéristiques du milieu.

Échantillon de pompe automatique : mélange particulier d'eau-sédiments pompé à partir d'un point fixe dans un cours d'eau. Ces échantillons sont prélevés à l'aide d'un dispositif d'échantillonnage automatique.

Échantillon de sédiments intégré en fonction de la profondeur : échantillon de sédiments en suspension prélevé le long d'une verticale dans une section transversale, à l'aide d'un échantillonneur se déplaçant à vitesse constante; c'est un échantillon moyen représentant la partie de la colonne d'eau comprise entre la surface et environ neuf centimètres au-dessus du fond.

Échantillon fractionné : échantillon unique séparé en deux ou plusieurs parties, de telle façon que chacune de ces parties soit représentative de l'échantillon d'origine.

Échantillon instantané de sédiments en suspension : échantillon représentatif prélevé à un certain moment en un point donné de la section transversale d'une rivière.

Échantillon isolé : échantillon généralement unique, prélevé un jour donné le long d'une verticale permanente choisie dans une section transversale. Chacun de ces échantillons est composé de deux bouteilles de mélange eau-sédiments.

Échantillon ponctuel intégré de sédiments : échantillon du mélange eau-sédiments prélevé pendant une période donnée, en un point et à une profondeur choisis de la section transversale d'une rivière.

Échantillon prélevé par plongée : échantillon prélevé simplement à l'aide d'une bouteille d'échantillonnage à un endroit donné.

Filtrat : liquide qui a passé à travers un milieu poreux.

Granulométrie : dimension linéaire utilisée pour représenter la taille d'une particule; elle est généralement exprimée sous forme de diamètre, en mm.

Liquide surnageant : liquide se trouvant au-dessus de la surface des sédiments déposés.

Matériaux de charriage : mélange de sédiments qui constitue le lit du cours d'eau.

Matières dissoutes : masse de constituants dissous présents dans l'eau, déterminée par évaporation à sec de l'échantillon.

Médiane du diamètre (d50) : valeur centrale de la répartition granulométrique d'un échantillon, la moitié du poids étant composée de particules ayant un diamètre plus grand que la médiane.

Méthode de l'hydromètre : méthode d'analyse granulométrique d'échantillons renfermant une grande quantité de sédiments fins.

Milligrammes par litre (mg/L) : unité de mesure de la concentration des sédiments en suspension, représentant le rapport de la masse des sédiments secs au volume du mélange eau-sédiments.

Pompe d'échantillonnage : échantillonneur permettant de pomper le mélange eau-sédiments à travers un boyau ou un tuyau, dont l'entrée est placée au point d'échantillonnage choisi.

Production de sédiments : quantité totale de sédiments entraînée hors d'un bassin versant ou au-dela d'une limite donnée pendant une certaine période de temps. Elle comprend le charriage de fond et la charge de sédiments en suspension, et elle s'exprime généralement en masse ou volume par unité de temps.

Section transversale : section plane d'un cours d'eau perpendiculaire à l'axe d'écoulement.

Sédiments : matériaux fragmentaires provenant de la roche, transportés, déposés ou présents en suspension dans un cours d'eau.

Sédiments en suspension : sédiments transportés en suspension dans l'eau sous forme de colloïdes, ou sous l'influence des composantes ascendantes de courants turbulents.

Verticale d'échantillonnage : ligne verticale imaginaire, allant de la surface de l'eau jusqu'au fond du cours d'eau, le long de laquelle un ou plusieurs échantillons sont prélevés pour mesurer diverses caractéristiques, comme la concentration des sédiments en suspension, par exemple.

Verticale d'échantillonnage isolé : verticale, en un point donné de la section transversale, où sont prélevés les échantillons isolés de sédiments en suspension.

Zone non échantillonnée : partie située immédiatement au-dessus du lit où ne se rend pas la buse de l'échantillonneur en raison de la configuration de ce dernier.

3. CHIFFRES SIGNIFICATIFS, UNITÉS ET CLASSIFICATION

3.1 Chiffres significatifs

La qualité des calculs relatifs aux sédiments dépend en partie de la précision des analyses de laboratoire. Par conséquent, les chiffres significatifs utilisés pour l'enregistrement des données analytiques au laboratoire représentent un compromis entre l'importance de la précision nécessaire pour l'utilisation des données et la normalisation des chiffres significatifs.

Les règles et normes suivantes ont été adoptées par la Division des relevés hydrologiques du Canada pour représenter les diverses grandeurs.

1. Concentration : à 1 mg/L près, par ex. 11, 521, 10 921.

2. Poids net : à 0.0001 g près, par ex. 45.6646.

3. Poids net de mélange eau-sédiments : à 1 g près.

4. Volume : à 1 mL près.

5. Granulométrie, en «pourcentage plus fin que», à 0.1 % près, par ex. 15.3, 99.9.

   Si le chiffre après le dernier chiffre significatif est égal ou supérieur à 5, arrondir à la décimale supérieure; par exemple 6885 = 6890 ou 688.5 = 689 ou encore 0.0015 = 0.002.

3.2 Unités de concentration

Les méthodes de calcul, appliquées aux données analytiques obtenues par les méthodes de filtration et d'évaporation, permettent d'obtenir mathématiquement les concentrations en parties par million. Ces concentrations sont calculées sous la forme du rapport du poids de sédiments au poids de mélange eau-sédiments.

Pour exprimer correctement ces concentrations en milligrammes par litre (mg/L), il faut donc multiplier les concentrations calculées (ppm) par le facteur de conversion correspondant (tableau 1).

Tableau 1. Facteur pour convertir des parties par million en milligrammes par litre

Concentration (ppm)	Facteur	Concentration (ppm)	Facteur
0 - 7 900	1.00	54 500 - 69 200	1.04
8 000 - 23 700	1.01	69 300 - 83 700	1.05
23 800 - 39 200	1.02	83 800 - 98 000	1.06
39 300 - 54 300	1.03	98 100 - 112 000	1.07

3.3 Classification des matériaux

Le choix de l'intervalle granulométrique à étudier est fonction des objectifs de l'analyse. Les classes granulométriques proposées par la Division des relevés hydrologiques du Canada correspondent à celles définies par le Sous-comité sur la terminologie des sédiments de l'American Geophysical Union. La classification s'établit sommairement comme suit :

Classification	Grosseur (mm)
Argile	0.00024 - 0.004
Limon	0.004 - 0.062
Sable	0.062 - 2.000
Gravier	2.000 - 64.000
Cailloux	64.0 - 512.0
Blocs	512.0 - 4096.0

Généralement, seules les particules plus petites que le gravier grossier (<64mm) sont acheminées au laboratoire, car un échantillon représentatif de particules plus grandes représenterait un volume et un poids excessifs pour le transport. Il faut parfois faire éclater certains échantillons ou les diviser en quartiers et utiliser les quartiers opposés pour obtenir la quantité nécessaire de sédiments pour l'analyse. Le tableau 2 qui suit indique la portée de diverses méthodes d'analyse granulométrique, et précise les quantités, les grosseurs des particules et les concentrations.

Tableau 2. Grosseurs, concentrations d'analyse et quantités proposées pour les méthodes courantes d'analyse granulométrique de sédiments

Méthode d'analyse	Grosseur (mm)	Concentration approximative (mg/L)	Quantité optimale de sédiments (g)
Tamis sec	0.062 à 32.0		50 - Aucune limite
Tamis humide	0.001 à 1.000		0.05 - 1.0
Hydromètre	0.001 à 0.062	25 000 à 60 000	25 - 60
Tube PF	0.001 à 1.000	300 à 10 000	0.15 - 5

4. MÉTHODE POUR L'ANALYSE DE LA CONCENTRATION

4.1 Analyse de la concentration

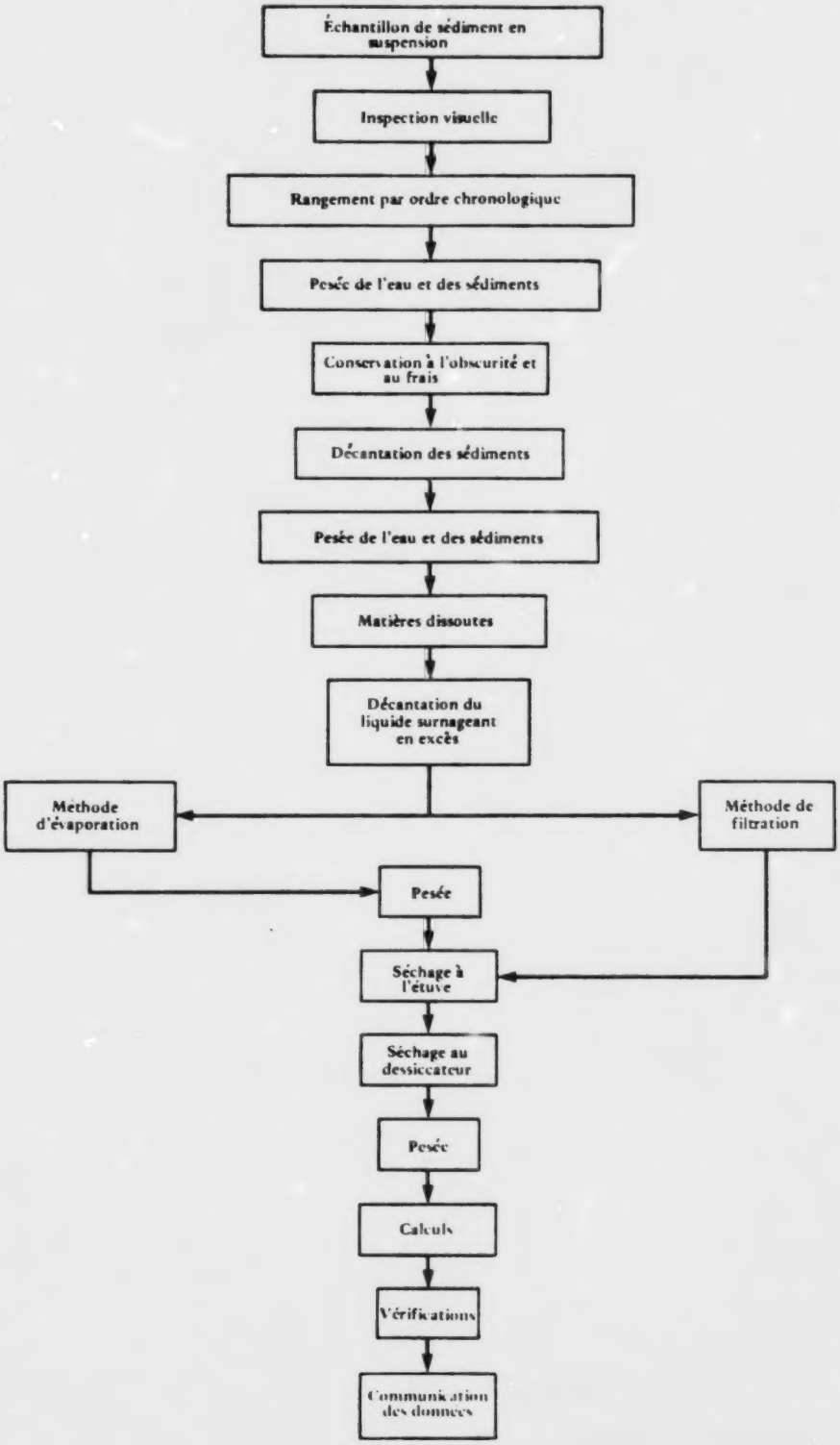


Figure 1. Diagramme de l'analyse de la concentration.

4.2 Programmation des échantillons

Les échantillons, après réception au laboratoire, doivent faire l'objet d'une vérification croisée aves les notes prises sur le terrain, car l'information figurant sur l'étiquette de la bouteille d'échantillon doit correspondre à ces notes. Les échantillons sont ensuite catalogués selon le nom de la station, le numéro, la date, puis rangés d'après leur numéro. Les bouteilles très sales à l'extérieur doivent être bien essuyées. Les échantillons doivent également faire l'objet d'une inspection pour déterminer leur état général, et en particulier pour vérifier les éléments suivants :

1. Possibilité d'évaporation excessive;
2. Déversement accidentel ou fuite pendant le transport;
3. Plastique, papier ou couvercles mal ajustés;
4. Les échantillons ont-ils été congelés ou reçus à l'état congelé?
5. Les échantillons ont-ils été traités avec la solution requise de sulfate de cuivre, $CuSO_4$? Les échantillons doivent avoir été traités avec 1 mL d'un mélange constitué de 0.4 g de sulfate de cuivre dans 100 mL d'eau distillée, avant leur expédition au laboratoire. Si cela n'a pas été fait, et si les échantillons doivent être conservés au laboratoire pendant une période prolongée, il faut procéder au traitement.

Toutes les anomalies doivent être consignées pour référence ultérieure lors des calculs relatifs aux sédiments.

Choisir la méthode d'analyse : filtration, évaporation, tube pour prélèvement de fond, tamis humide, tamis sec, ou hydromètre.

Les bouteilles d'échantillons, après la programmation, doivent être conservées dans un endroit frais et obscur pour empêcher toute évaporation excessive et la croissance d'organismes, pendant une période minimale de sept jours ou pendant un laps de temps suffisant pour permettre aux sédiments de se déposer au fond de la bouteille d'échantillon.

4.3 Analyse des matières dissoutes

L'expression matières dissoutes est définie de façon quantitative par la méthode utilisée pour l'analyse; elle représente les résidus des substances dissoutes dans l'eau.

L'information relative aux matières dissoutes est utilisée de trois façons différentes pour l'analyse des sédiments : 1) il faut connaître la valeur en matières dissoutes pour la répartition granulométrique, de façon à pouvoir établir un classement fiable; 2) la concentration nette de sédiments, déterminée par la méthode d'évaporation, devra éventuellement être corrigée si la teneur en matières dissoutes de l'eau évaporée est relativement élevée et si la concentration de sédiments est relativement faible; 3) la concentration de matières dissoutes doit être relevée pour l'analyse granulométrique effectuée avec de l'eau naturelle comme milieu de décantation, car il existe peut-être une corrélation avec la tendance à la floculation.

L'énoncé qui suit, (Guy, 1969), peut servir de guide pour déterminer si une correction pour le poids de matières solides dissoutes est nécessaire.

> «On pourra améliorer de 5 % ou plus les résultats de l'analyse des sédiments si la concentration de matières dissoutes est égale ou supérieure à la concentration des sédiments, en supposant qu'une fraction de 20 mL d'eau naturelle est utilisée pour l'évaporation, et que l'échantillon d'origine renferme 400 g de mélange eau-sédiments. Par exemple, une correction pour les matières dissoutes doit être effectuée lorsque la concentration de matières dissoutes est de 200 mg/L ou plus, et que la concentration des sédiments est de 200 mg/L ou moins».

L'analyse des matières dissoutes doit être effectuée par la méthode d'évaporation; le volume d'échantillon renfermant le résidu doit être évaporé à sec, puis chauffé à 150 °C pendant 1 h; le résidu doit ensuite être refroidi dans un dessiccateur jusqu'à 1 degré au-dessus de la température de la pièce, puis immédiatement pesé. Les récipients contenant les matières dissoutes ne doivent jamais être refroidis dans un dessiccateur renfermant des récipients avec des sédiments, car le résidu a des propriétés hygroscopiques.

La valeur en matières dissoutes doit être notée à un entier près. On propose la méthode de calcul suivante pour la concentration de matières dissoutes :

$$\text{Matières dissoutes (mg/L)} = \frac{\text{Résidu (g)}}{\text{Volume d'échantillon utilisé (mL)}} \times \frac{1000\ \text{mg}}{\text{g}} \times \frac{1000\ \text{mL}}{\text{L}}$$

4.3.1 Choix des échantillons pour l'analyse des matières dissoutes

Utiliser les «directives» suivantes pour le choix du programme d'échantillons de sédiments, destiné à la mesure de la concentration de matières dissoutes :

1. Il faut qu'il y ait des matières dissoutes dans tous les échantillons analysés par les méthodes de l'évaporation et du tube de prélèvement de fond.

2. L'analyse des matières dissoutes doit être effectuée individuellement sur des échantillons prélevés aux endroits suivants :

   a) point d'inflexion entre les basses eaux et la montée des eaux;
   b) milieu de la montée des eaux;
   c) niveau maximum de l'eau;
   d) milieu de la décrue;
   d) point d'inflexion entre la décrue et les basses eaux.

3. L'analyse des matières dissoutes doit être effectuée avec un échantillon sur 12, mais à raison de deux échantillons au moins par mois.

4. Les matières dissoutes doivent être analysées avec des échantillons provenant de toutes les verticales, y compris la verticale d'échantillonnage isolé «quotidien», à raison d'au moins deux mesures intégrées en fonction de la profondeur par année.

5. L'analyse des matières dissoutes doit être effectuée pour chaque échantillon que l'on soupçonne avoir été congelé.

6. L'analyse des matières dissoutes doit être effectuée sur tous les échantillons avec au moins une mesure ponctuelle intégrée par année, lorsque c'est possible...

7. Les échantillons prélevés par des échantillonneurs automatiques à pompe, avec échantillonnage parallèle intégré en fonction de la profondeur, doivent être traités selon les directives 1 et 2. Il n'est pas nécessaire d'analyser les matières dissoutes dans les autres échantillons prélevés par des échantillonneurs automatiques, à moins d'indications contraires.

4.4 Méthode de la filtration

La méthode de la filtration pour mesurer la concentration des sédiments en suspension utilise un creuset de type Gooch, avec divers types de milieux filtrants. La méthode de filtration présente plusieurs avantages par rapport à la méthode d'évaporation dans un récipient en pyrex, à savoir : 1) le creuset de type Gooch s'adapte facilement à un collecteur et à un système d'aspiration à vide; 2) les creusets sont moins pesants et nécessitent moins d'espace dans l'étuve et le dessiccateur, que les récipients d'évaporation; 3) l'aire surfacique moindre du creuset entraîne moins de fluctuation du poids de la tare par suite de l'absorption d'humidité à partir de l'air pendant la pesée; 4) les produits dissous passent à travers le creuset, ce qui élimine la nécessité d'une correction pour les matières dissoutes. La méthode de la filtration convient mieux pour les échantillons renfermant une concentration allant jusqu'à 2000 mg/L.

Aux laboratoires de la Direction des ressources en eau, on a adopté pour la filtration des échantillons un creuset bas de type Gooch, Corning numéro 32960 de Pyrex, avec un disque fritté de porosité grossière et un filtre numéro 934 AH en fibre de verre, ainsi qu'un préfiltre Millipore AP20. Ce nouveau système de filtration permet des économies considérables de temps de préparation et de filtration, et élimine le risque pour la santé que représente l'utilisation d'une couche d'amiante.

4.4.1 Méthode de préparation des creusets pour la méthode de filtration

La méthode suivante décrit la préparation individuelle d'un creuset. La norme dans nos laboratoires consiste à préparer et à tarer les creusets en groupes de douze, plus deux creusets témoins, de façon à assurer le respect des critères du contrôle de qualité.

1. Placer le filtre 934AH dans un creuset préalablement nettoyé, l'un ou l'autre des côtés du disque vers le haut.

2. Laver le filtre avec de l'eau distillée tout en appliquant un vide de 100 à 300 mm Hg.

3. Placer le préfiltre AP20 sur le filtre 934AH et l'humidifier tout en appliquant un vide de 100 à 300 mm Hg.

4. À l'aide d'une tige, exercer une pression vers le bas sur les filtres en appliquant un vide de 100 à 300 mm Hg. Cela permet de faire adhérer le AP20 au 934AH.

5. Placer le creuset dans une étuve à 105 °C pendant trois heures.

6. Transférer le creuset dans un dessiccateur et laisser refroidir à la température de la pièce plus 1 °C.

7. Peser le creuset et noter le poids.

4.4.2 Équipement de laboratoire pour la méthode de filtration

1. Récipients et béchers d'évaporation préalablement tarés.

2. Système d'aspiration sous vide ou pipette pour retirer le liquide surnageant de l'échantillon.

3. Étuve de type à convection.

4. Dessiccateur.

5. Balances : l'une à plateau supérieur, de 2000 g de capacité, précise à 0.1 g; et une autre de précision, de 80 g de capacité, précise à 0.1 mg.

6. Creusets avec filtre.

7. Système collecteur pour filtre avec pompe à vide.

4.4.3 Méthode d'analyse par filtration

1. Si l'échantillon n'a pas été pesé au moment de sa réception au laboratoire, le poids brut doit maintenant être consigné sur la feuille de laboratoire, avec l'information relative à l'échantillon notée sur le terrain.

2. Laisser l'échantillon reposer pendant 12 heures.

3. Décanter 100 mL de l'échantillon, et verser le liquide surnageant dans un récipient d'évaporation.

NOTE : Dans la plupart des cas, un échantillon est constitué de deux bouteilles de mélange de sédiments, A et B; il faut donc retirer 50 mL de chaque bouteille pour déterminer la teneur en matières dissoutes.

4. Décanter et jeter l'eau exempte de sédiments qui reste, en évitant de perturber les sédiments au fond de la bouteille.

5. Entraîner le liquide restant et les sédiments dans un creuset préalablement préparé et pesé, avec un jet d'eau distillée et en appliquant un vide de 400 à 600 mm de mercure (mm Hg), soit environ 7 à 12 lb/po^2.

6. Placer la bouteille d'échantillon sur un support de séchage, l'ouverture vers le bas, de façon à permettre aux parois latérales de la bouteille de sécher à l'air.

7. Placer les creusets dans une étuve jusqu'à ce qu'ils soient secs, puis chauffer à 105 °C pendant une heure.

8. Consigner le poids de la bouteille d'échantillon sec, et déterminer le «poids net» de l'échantillon.

9. Placer les creusets dans un dessiccateur et laisser refroidir à la température de la pièce plus 1 °C. En raison de l'effet hygroscopique, les récipients d'évaporation pour les matières dissoutes ne doivent pas être placés dans le même dessiccateur que les creusets avec les sédiments.

10. Peser les creusets sur une balance de précision. Consigner le poids, et déterminer le «poids net» des sédiments.

11. Déterminer le «poids net» et la concentration résultante, comme suit :

$$TC = \frac{W_S \times A \times B}{W_{SM}}$$

où :

TC = Concentration totale en mg/L
W_s = Poids net de sédiments, en g
A = 1000 mL par litre
B = 1000 mg par gramme
W_{sM} = Poids net de mélange eau-sédiments, exprimé sous forme de volume, en mL

4.4.4 Calculs pour l'analyse par filtration

On propose l'utilisation des méthodes suivantes pour le calcul des concentrations de sédiments dans le cas des échantillons analysés par la méthode de filtration. La feuille de laboratoire pour la méthode de filtration, Figure 2a, est divisée en 5 sections : caractérisation de l'échantillon, volume d'échantillon prélevé, matières dissoutes, correction pour les matières dissoutes et sédiments.

1.- - Inscrire la date de prélèvement à la ligne 1; le type d'échantillon à la ligne 2 et le numéro d'échantillon par ordre chronologique à la ligne 3.

2. Le «poids brut» de l'échantillon, en grammes, est inscrit à la ligne 4.

3. Le «poids à vide» de la bouteille d'échantillon, en grammes, est inscrit à la ligne 5.

4. On calcule le «poids net» en soustrayant le poids à vide du «poids brut», et on l'inscrit à la ligne 6.

5. Inscrire la quantité de sulfate de cuivre ($CuSO_4$) utilisée dans chaque bouteille d'échantillon à la ligne 7. Cette quantité est généralement de 1 cc par bouteille d'échantillon, à moins d'indications contraires dans les notes prises sur le terrain.

6. Le «poids total d'échantillon» est le «poids net» moins le «$CuSO_4$» utilisé, et il est inscrit à la ligne 9. Mais, si l'échantillon est constitué de deux bouteilles A et B, le «poids total d'échantillon» est calculé en additionnant les «poids d'échantillon» et en soustrayant le $CuSO_4$.

7. L'identification préalable «numéro de récipient» est inscrit à la ligne 10; c'est-à-dire 10X, 123X, etc.

8. Le «volume» d'échantillon employé pour l'analyse des matières dissoutes est inscrit à la ligne 11.

9. Le «poids brut» du «récipient de matières dissoutes», comprenant la matière séchée à l'étuve, est inscrit à la ligne 12, avec quatre chiffres décimaux.

10. Le «poids à vide» du récipient déterminé préalablement est inscrit à la ligne 13.

11. Le «poids net» est calculé en soustrayant le «poids à vide» du «poids brut», et il est inscrit à la ligne 14.

12. La valeur «matières dissoutes totales», en mg/L, est calculée à partir de l'équation suivante et inscrite à la ligne 15.

$$T_{DS} = \frac{\text{RÉSIDU} \times A \times B}{S_w}$$

où : T_{DS} = Matières solides dissoutes totales en mg/L
RÉSIDU = «Poids net» exprimé en grammes (g)
A = 1000 mL par litre
B = 1000 mg par gramme
S_w = Volume d'eau utilisé (provenant d'un cours d'eau), en mL

13. Le «numéro de creuset» utilisé pour la filtration des sédiments est inscrit à la ligne 20.

14. Le «poids brut» du creuset séché à létuve est déterminé à quatre décimales près et inscrit à la ligne 21.

15. Le «poids à vide» du creuset, déterminé préalablement, est inscrit à la ligne 22.

16. Le «poids net» des sédiments est calculé en soustrayant le «poids à vide» du «poids brut», et il est inscrit à la ligne 23.

17. La «concentration» de l'échantillon est calculée à l'aide de la formule suivante, et inscrite à la ligne 26.

$$C = \frac{NW_S \times A \times B}{W_{SM}}$$

où :

C = Concentration en mg/L
NW_s = Poids net des sédiments en grammes
A = 1000 mL par litre
B = 1000 mg par gramme
W_{SM} = Poids net du mélange eau-sédiments, exprimé sous forme de volume, en mL.

Note : Bien que les équations ci-dessus donnent les valeurs pour les matières dissoutes et les concentrations en mg/L, il s'agit en fait de parties par million, car nous avons des mélanges massiques. Par conséquent, les valeurs doivent être converties en mg/L, conformément à la section 3.2, Unités de concentration.

STATION NAME NOM DE LA STATION: North Saskatchewan River at Prince Albert — STATION No. Nº DE LA STATION: 05GG001

VOLUME D'ÉCHANTILLON PRÉLEVÉ — ÉCHANTILLON	DATE DE PRÉLÈVEMENT	1	Jun 24, 86		Jun 25								
	TYPE D'ÉCHANTILLON	2	DI		DI								
	NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON	3	5724 A	5724 B	5725 A	5725 B							
	POIDS BRUT (G)	4	659	642	590	647							
	POIDS À VIDE (G)	5	372	371	367	372							
	POIDS NET (G)	6	287	271	223	275							
	MOINS $CaSO_4$	7	1	1	1	1							
	POIDS DE L'ÉCHANTILLON (G)	8	286	270	222	274							
	POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON (G)		556		496								
MATIÈRES DISSOUTES	NUMÉRO DU RÉCIPIENT	10			10								
	VOLUME UTILISÉ (mL)	11			10								
	POIDS BRUT (G)	12			43·5987								
	POIDS À VIDE (G)	13			43·5287								
	POIDS NET (G)	14			0·0280								
	MAT. TOT. DISS. (mg/L)	15			2800								
CORRECTION POUR LES MATIÈRES DISSOUTES	POIDS BRUT(G)	16											
	POIDS À VIDE (G)	17											
	EAU DE RIVIÈRE UTILISÉE (mL)	18											
	CORRECTION	19											
SÉDIMENTS	NUMÉRO DU RÉCIPIENT	20	10 B		10 B								
	POIDS BRUT (G)	21	33·4917		33·3915								
	POIDS À VIDE (G)	22	33·1128		33·1604								
	POIDS NET (G)	23	0·2789		0·2291								
	CORRECTION MAT. DISS.	24	—		—								
	POIDS NET (G)	25	0·2789		0·2291								
CONCENTRATION (mg/L)		26	620		462								

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU

ANALYSÉ PAR : _____ DATE : _____ CALCULÉ PAR : _____ DATE _____ VÉRIFIÉ PAR : _____ DATE : _____

Figure 2a. Feuille de données de laboratoire pour la méthode de filtration.

4.5 Méthode d'évaporation

On mesure la concentration en laissant les sédiments se déposer au fond de la bouteille d'échantillon, en décantant le liquide surnageant, en entraînant les sédiments par lavage dans un récipient et en laissant sécher à l'étuve; c'est la méthode la plus simple pour déterminer la concentration des échantillons de sédiments en suspension. La technique de l'évaporation nécessite une supervision plus étroite que celle de la filtration, en raison du risque d'erreurs attribuables aux causes suivantes : a) perte de particules de sédiments lors de la décantation du liquide surnageant dans la bouteille d'échantillon; b) erreurs de pesée, lorsque les concentrations de sédiments sont très faibles; c) correction pour les matières dissoutes, nécessaire pour déterminer la concentration de l'échantillon. La méthode de l'évaporation a l'avantage d'être une technique simplifiée, et elle ne requiert que le minimum d'équipement de laboratoire. Généralement, la méthode d'évaporation est employée lorsque la concentration de sédiments se situe aux environs de 2000 mg/L à 10 000 mg/L. La limite inférieure s'applique dans les cas où les échantillons sont surtout constitués de matériaux fins (limon et argile), et la limite supérieure lorsque les échantillons renferment surtout du sable.

4.5.1 Équipement de laboratoire pour la méthode d'évaporation

1. Récipients d'évaporation préalablement pesés
2. Pipette pour retirer le liquide surnageant de l'échantillon
3. Étuves de séchage
4. Dessiccateurs
5. Balance de précision

4.5.2 Méthode d'analyse par évaporation

1. Inscrire sur la feuille de données de laboratoire l'information relative à l'échantillon obtenue sur le terrain, et consigner le poids brut.

2. Laisser reposer l'échantillon pendant un certain temps pour permettre aux sédiments de se déposer.

3. Décanter 100 mL de l'échantillon, et verser le liquide surnageant dans un récipient d'évaporation.

   NOTE : Dans la plupart des cas, un échantillon est constitué de deux bouteilles de mélange de sédiments, A et B; il faut donc retirer 50 mL de chaque bouteille pour la mesure de la teneur en matières dissoutes.

4. Décanter et jeter l'eau exempte de sédiments qui reste, en prenant garde de ne pas déplacer les sédiments au fond de la bouteille.

5. Peser la bouteille renfermant le mélange de sédiments et noter le poids.

6. À l'aide d'eau distillée, entraîner le liquide restant et les sédiments dans un récipient d'évaporation préalablement pesé.

7. Placer la bouteille d'échantillon sur un support de séchage, l'ouverture vers le bas, pour permettre aux parois latérales de la bouteille de sécher à l'air.

8. Transférer les récipients d'évaporation dans une étuve et faire évaporer à sec, puis chauffer à 105 °C pendant une heure.

9. Noter le poids de la bouteille d'échantillon à sec, et déterminer le «poids net» de l'échantillon.

10. Transférer les récipients d'évaporation dans un dessiccateur et laisser refroidir à la température de la pièce plus 1 °C. À cause de l'effet hygroscopique, les récipients d'évaporation avec les matières dissoutes ne doivent pas être placés dans le dessiccateur renfermant les récipients avec les sédiments.

11. Peser les récipients d'évaporation sur une balance de précision. Noter le poids et déterminer le «poids net» de sédiments.

12. Déterminer la «correction pour les matières dissoutes». La formule proposée pour le calcul de cette correction est la suivante :

$$D_{SC} = \frac{T_{DS} \times S_w}{S \times B}$$

où : D_{SC} = Correction pour les matières dissoutes, en grammes
T_{DS} = Matières dissoutes, totales en mg/L
S_w = Volume d'eau de rivière utilisé, en mL
A = 1000 mL par litre
B = 1000 mg par gramme

13. Déterminer le «poids net», puis la concentration résultante, comme suit :

$$C = \frac{W_S \times A \times B}{W_{SM}}$$

où : C = Concentration en mg/L
W_S = Poids net de sédiments en grammes
A = 1000 mL par litre
B = 1000 mg par gramme
W_{SM} = Poids net de mélange eau-sédiments, exprimé sous forme de volume, en mL

4.5.3 Calcul pour l'analyse par évaporation

Les données pour l'analyse par évaporation (figure 2b) sont semblables à celles de la méthode par filtration, excepté la «correction pour les matières dissoutes» qui doit être faite pour le «poids net».

Pour arriver à la concentration correcte, c'est la formule suivante qui s'applique :

$$C = \frac{NW_S - D_{SC}}{W_{SM}} \times A \times B$$

où
- C = Concentration en mg/L
- NW_s = Poids net de sédiments, en grammes
- D_{SC} = Correction pour les matières dissoutes, en grammes
- A = 1000 mL par litre
- B = 1000 mg par gramme
- W_{SM} = Poids net de mélange eau-sédiments, exprimé sous forme de volume, en mL

STATION NAME NOM DE LA STATION: North Saskatchewan River at Prince Albert STATION No. Nº DE LA STATION: 05GG001

ÉCHANTILLON	DATE DE PRÉLÈVEMENT	1	May 19, 81											
	TYPE D'ÉCHANTILLON	2	DI											
	NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON	3	5072 A	5072 B										
VOLUME D'ÉCHANTILLON PRÉLEVÉ	POIDS BRUT (G)	4	739	744										
	POIDS À VIDE (G)	5	366	367										
	POIDS NET (G)	6	373	367										
	MOINS $CaSO_4$	7	1	1										
	POIDS DE L'ÉCHANTILLON (G)	8	372	366										
	POIDS TOTAL DE L'ÉCHANTILLON (G)													
MATIÈRES DISSOUTES	NUMÉRO DU RÉCIPIENT	10	45X	46X										
	VOLUME UTILISÉ (mL)	11	100	100										
	POIDS BRUT (G)	12	37.4991	38.0069										
	POIDS À VIDE (G)	13	37.4597	37.9669										
	POIDS NET (G)	14	0.0394	0.0393										
	MAT. TOT. DISS. (mg/L)	15	394	395										
CORRECTION POUR LES MATIÈRES DISSOUTES	POIDS BRUT(G)	16	385	381										
	POIDS À VIDE (G)	17	366	367										
	EAU DE RIVIÈRE UTILISÉE (mL)	18	19	14										
	CORRECTION	19	0.0075	0.0055										
SÉDIMENTS	NUMÉRO DU RÉCIPIENT	20	185	136										
	POIDS BRUT (G)	21	53.5022	47.3772										
	POIDS À VIDE (G)	22	50.8957	45.0143										
	POIDS NET (G)	23	2.6065	2.3629										
	CORRECTION MAT. DISS.	24	0.0075	0.0055										
	POIDS NET (G)	25	2.5990	2.3774										
CONCENTRATION (mg L)		26	6987	6323										

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU

ANALYSÉ PAR : _____ DATE : _____ CALCULÉ PAR : _____ DATE _____ VÉRIFIÉ PAR : _____ DATE : _____

Figure 2b. Feuille de données de laboratoire pour la méthode d'évaporation.

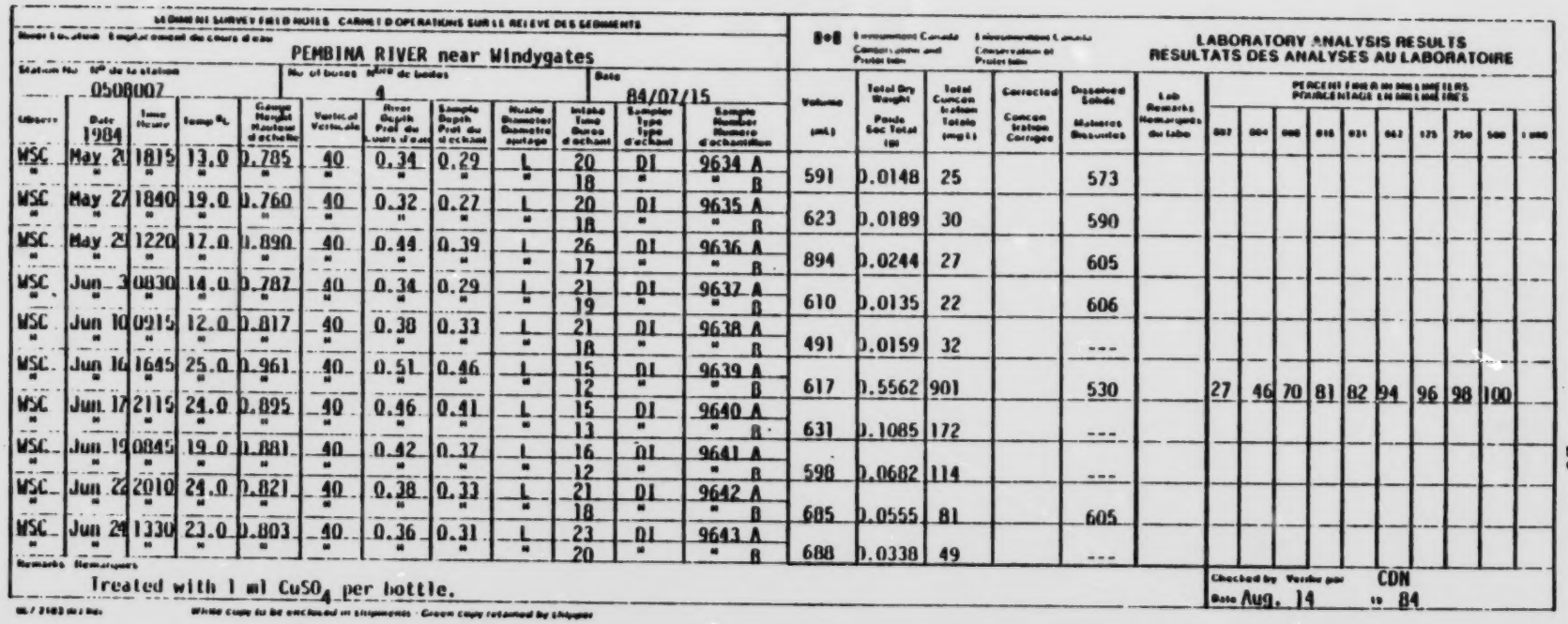
Voir fig. 2a

4.6 Relevé des résultats de l'analyse de la concentration

Le relevé des données de la méthode de filtration (figure 2a) et de la méthode d'évaporation (figure 2b) est un transfert d'information sur la formule finale des notes sur les sédiments prises sur le terrain et des résultats des analyses au laboratoire (figure 3).

Les colonnes suivantes de la figure 3 sont remplies sur le terrain pendant le prélèvement des échantillons : nom et numéro de la station, observateur, date et heure d'échantillonnage, hauteur d'échelle, verticale, température de l'eau, profondeur du cours d'eau, profondeur de l'échantillon, diamètre de l'ajutage, durée d'échantillonnage, type d'échantillon et numéro de l'échantillon. Les colonnes suivantes sont prises dans 2a ou 2b : volume, poids sec total, concentrations totales et matières dissoutes. La méthode d'analyse soit par filtration (F) soit par évaporation (E), est indiquée à la colonne Méthode d'analyse.

Si on utilise la méthode du tube de prélèvement de fond pour déterminer la répartition granulométrique, les colonnes suivantes sont prises dans la liste des données correspondant au tube de prélèvement de fond tableau 6 : matières dissoutes, D_{50}, % sable, % limon, % argile.



SEDIMENT SURVEY FIELD NOTES CARNET D'OPERATIONS SUR LE RELEVE DES SEDIMENTS

PEMBINA RIVER near Windygates

Station No / N° de la station: 05OB007 | No of bottles / Nbre de bottes: 4 | Date: 84/07/15

Observer	Date 1984	Time Heure	Temp °C	Gauge Height Hauteur d'échelle	Vertical Verticale	River Depth Prof. du cours d'eau	Sample Depth Prof. de l'échant.	Nozzle Diameter Diamètre ajutage	Intake Time Durée d'échant.	Sampler Type Type d'échant.	Sample Number Numéro d'échantillon	Volume (mL)	Total Dry Weight Poids Sec Total (g)	Total Concen Totale (mg/L)	Corrected Concen Intégr. Corrigée	Dissolved Solids Matières Dissoutes	Lab Remarks Remarques du labo	PERCENT FINER THAN MILLIMETRES / POURCENTAGE EN MILLIMETRES								
																		.007	.004	.008	.016	.031	.062	.125	.250	.500	1.000
WSC	May 26	1815	13.0	0.785	40	0.34	0.29	L	20	DI	9634 A	591	0.0148	25		573											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	18	"	" B																
WSC	May 27	1840	19.0	0.760	40	0.32	0.27	L	20	DI	9635 A	623	0.0189	30		590											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	18	"	" B																
WSC	May 29	1220	17.0	0.890	40	0.44	0.39	L	26	DI	9636 A	894	0.0244	27		605											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	12	"	" B																
WSC	Jun 3	0830	14.0	0.787	40	0.34	0.29	L	21	DI	9637 A	610	0.0135	22		606											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	19	"	" B																
WSC	Jun 10	0915	12.0	0.817	40	0.38	0.33	L	21	DI	9638 A	491	0.0159	32		---											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	18	"	" B																
WSC	Jun 16	1645	25.0	0.961	40	0.51	0.46	L	15	DI	9639 A	617	0.5562	901		530		27	46	70	81	82	94	96	98	100	
"	"	"	"	"	"	"	"	"	12	"	" B																
WSC	Jun 17	2115	24.0	0.895	40	0.46	0.41	L	15	DI	9640 A	631	0.1085	172		---											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	13	"	" B																
WSC	Jun 19	0845	19.0	0.881	40	0.42	0.37	L	16	DI	9641 A	598	0.0682	114		---											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	12	"	" B																
WSC	Jun 22	2010	24.0	0.821	40	0.38	0.33	L	21	DI	9642 A	605	0.0555	81		605											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	18	"	" B																
WSC	Jun 29	1330	23.0	0.803	40	0.36	0.31	L	23	DI	9643 A	688	0.0338	49		---											
"	"	"	"	"	"	"	"	"	20	"	" B																

Remarks / Remarques: Treated with 1 ml $CuSO_4$ per bottle.

LABORATORY ANALYSIS RESULTS / RESULTATS DES ANALYSES AU LABORATOIRE

Checked by / Vérifié par: CDN

Date: Aug. 14 to 84

White copy to be enclosed in shipments / Green copy retained by Shipper

Figure 3. Carnet d'opérations sur le relevé des sédiments et résultats des analyses au laboratoire.

5. MÉTHODE POUR L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

5.1 Analyse granulométrique

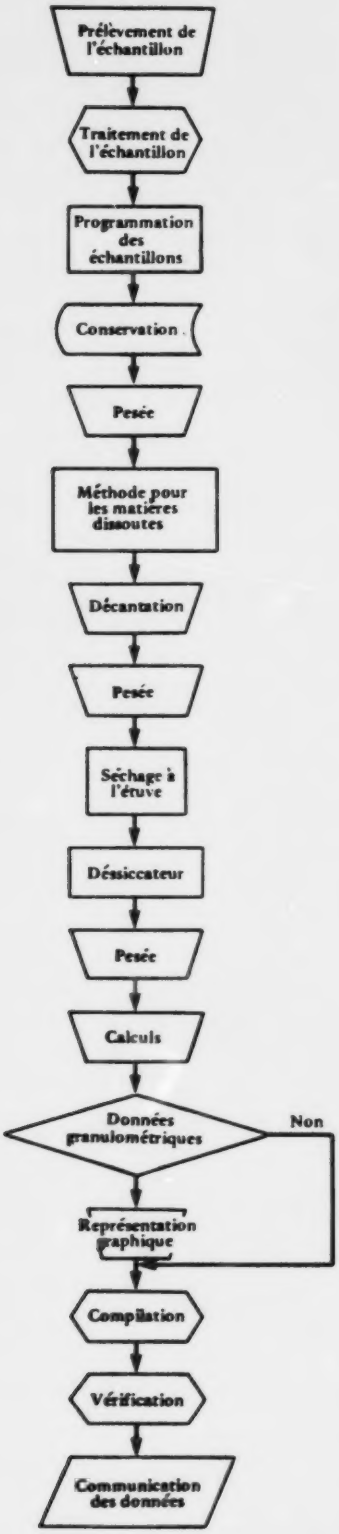


Figure 4. Diagramme de l'analyse granulométrique.

5.2 Méthode du tube d'extraction ou de prélèvement de fond

Le tube de prélèvement de fond est un tube en verre comportant une échelle volumétrique, et un orifice à action rapide à l'extrémité inférieure. Après dispersion uniforme de l'échantillon dans le tube, celui-ci est placé en position verticale dans un support. On prélève des volumes connus au fond à des intervalles de temps donnés; chaque échantillon ainsi prélevé est introduit dans un récipient d'évaporation, séché à l'étuve et pesé. Une fois que le poids des sédiments de chaque fraction a été déterminé, la répartition granulomérique peut être calculée à l'aide de la courbe d'Odén.

Bien qu'il existe d'autres méthodes pour déterminer la répartition granulométrique, comme celle du siltomètre et de la pipette, le présent manuel porte uniquement sur les méthodes du tube pour prélèvement de fond, de la décantation, de l'hydromètre et du tamis. La méthode du tube de prélèvement de fond est la technique la plus courante employée pour la majeure partie des échantillons de sédiments en suspension, prélevés dans l'intervalle de 300 mg/L à 10 000 mg/L au Canada. Un nombre suffisant d'échantillons doivent être analysés chaque année pour obtenir une répartition granulométrique représentative, correspondant à diverses valeurs de débit. La précision de ces analyses est fonction, entre autres facteurs, de la quantité et des caractéristiques physiques étudiées.

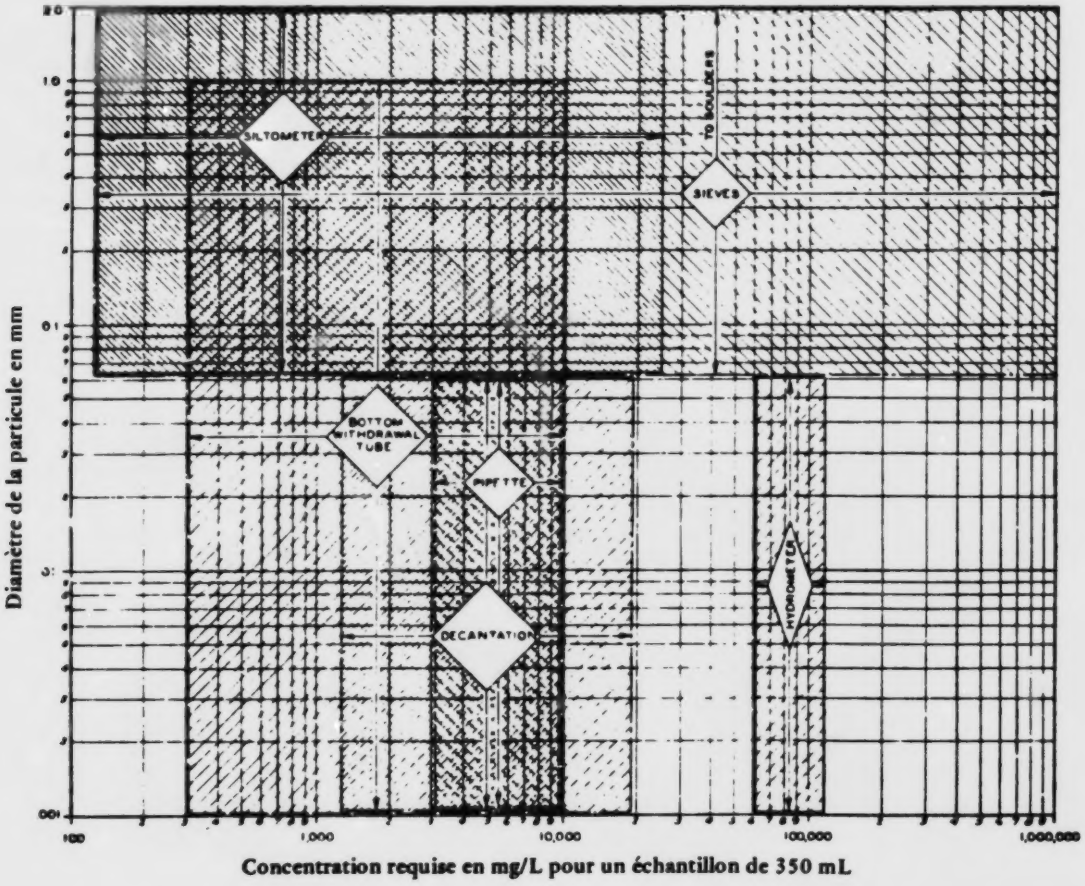


FIGURE 5 - Limites des méthodes d'analyse granulométrique (pour un échantillon de 350 mL)

La figure 5 présente graphiquement les limites des méthodes actuelles d'analyse granulométrique, d'après la capacité d'analyse d'un échantillon de 350 mL de sédiments en suspension.

5.2.1 Équipement de laboratoire pour la méthode du tube de prélèvement de fond

Un équipement spécial, plus perfectionné que celui que l'on trouve habituellement dans les laboratoires sédimentologiques, est représenté par le tube de prélèvement de fond, avec dispositif pour montage mural. La figure 6 présente les caractéristiques du tube de prélèvement de fond.

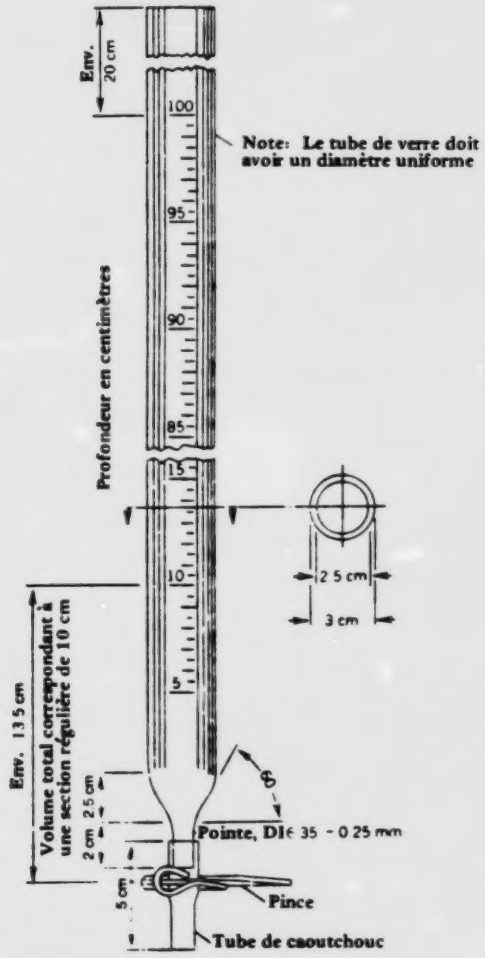


Figure 6. Tube de prélèvement de fond.

Longueur d'environ 122 cm; diamètre interne de 25 mm; extrémité inférieure du tube effilée jusqu'à 6.35 ± 0.25 mm de diamètre interne; la pointe a environ 2.0 cm de longueur. L'angle de la partie effilée est de 60° ± 10° par rapport au plan horizontal.

Le tube doit être marqué à des intervalles d'un demi-centimètre, à partir de 5 cm à la base jusqu'à 100 cm. La ligne de 10 cm doit se trouver à environ 13.5 cm de la partie inférieure de la pointe. L'emplacement exact de la ligne de 10 cm doit être déterminé comme suit : délimiter 90 cm de la partie droite d'un tube vierge, et mesurer le volume contenu entre ces points. Mesurer un neuvième de ce volume dans le tube. La partie inférieure du ménisque d'eau correspondra à la ligne de 10 cm. Le volume de toute autre fraction de 10 cm sera égal au volume se trouvant en-dessous de la ligne de 10 cm ± 2 mL. La ligne de 100 cm doit se trouver à environ 20 cm en-dessous de l'extrémité supérieure du tube. Les lignes de 10 cm et 5 cm doivent être des quarts de cercle, et les lignes de 1.0 et 0.5 cm doivent être respectivement plus courtes. Les chiffres ne doivent être inscrits qu'aux intervalles de 5 cm. L'extrémité supérieure du tube doit être fini en forme de moulure. L'extrémité de la pointe doit être polie délicatement au feu et munie d'un tube de caoutchouc avec une pince glissée autour de la pointe à la partie inférieure.

5.2.2 Étalonnage du tube de prélèvement de fond

Chaque tube doit être étalonné pour déterminer le volume du tube par centimètre de hauteur de colonne.

La méthode suivante doit être suivie pour obtenir l'étalonnage d'un tube de prélèvement de fond :

1. Fermer l'orifice à l'aide de la pince et remplir le tube avec de l'eau distillée jusqu'à la marque de 100 cm. Lire la valeur du niveau de liquide à la base du ménisque.

2. Déterminer et noter le poids à vide d'un bécher de 1000 mL.

3. Effectuer un prélèvement dans le bécher en desservant la pince et en abaissant le tube jusqu'à la marque de 90 cm.

4. Peser le contenu du bécher et noter le poids.

5. Continuer à effectuer des prélèvements cumulatifs successivement à tous les 10 cm (80, 70, 60, etc.)

   Déterminer le poids cumulatif pour chaque prélèvement et le poids cumulatif total, et consigner les valeurs obtenues.

6. Procéder à l'étalonnage :

$$\text{Étalonnage, g/cm} = \frac{\text{Poids cumulatif total (g)}}{\text{Hauteur de la colonne (100 cm)}}$$

On suppose que 1 g = 1 mL

Par conséquent, l'étalonnage est en mL/cm

7. Procéder à un étalonnage moyen final en obtenant trois valeurs d'étalonnage successives pour chaque tube.

8. Pour vérifier l'uniformité du tube, déterminer le volume de chaque portion de 10 cm du tube en calculant la différence entre chaque poids cumulatif prélevé et le poids cumulatif prélevé qui précède.

5.2.3 Préparation des échantillons pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond

Il est conseillé que les échantillons soient expédiés au laboratoire et que les analyses soient effectuées le plus tôt possible après le prélèvement de façon à pouvoir simuler les conditions réelles dans le cours d'eau. Si on procède ainsi, il est probable que la turbulence obtenue par dispersion uniforme de la suspension, comme il est décrit en 5.2.6, se rapprochera probablement davantage des conditions naturelles dans un cours d'eau. Si on veut obtenir un reflet fidèle de la sédimentation, il ne faut pas défaire les conglomérats ni les agrégats de particules, qui sont présents dans le cours d'eau à l'état naturel. Lors de la préparation de l'échantillon pour l'analyse par la méthode du tube de prélèvement de fond, noter les renseignements suivants : nom de la station, numéro de la station, verticale d'échantillonnage, type d'échantillon, date d'échantillonnage et numéro de l'échantillon (figure 7).

5.2.4 Méthode d'analyse des matières dissoutes

1. Enlever plastique et papier.

2. Peser l'échantillon et noter le poids brut.

3. Choisir un récipient d'évaporation et noter son numéro de référence et son poids à vide.

4. Décanter 100 mL de l'échantillon et introduire le liquide surnageant dans un récipient d'évaporation.

   NOTE : Dans la plupart des cas, un échantillon est constitué de deux bouteilles de mélange de sédiments, A et B; il faut donc prélever 50 mL de chaque bouteille pour déterminer la concentration de matières dissoutes.

5. Introduire les récipients d'évaporation dans une étuve et laisser évaporer à sec, puis chauffer à 105 °C pendant une heure.

6. Transférer le récipient d'évaporation dans un dessiccateur et laisser refroidir à la température de la pièce plus 1 °C.

7. Peser le récipient d'évaporation et noter le poids brut.

8. Déterminer le poids net en soustrayant le poids à vide du poids brut.

9. Déterminer la teneur en matières dissoutes :

$$\text{Matières dissoutes, mg/L} = \frac{\text{Poids net (g)}}{\text{Volume (mL)}} \times \frac{1000\ \text{mL}}{\text{L}} \times \frac{1000\ \text{mg}}{\text{g}}$$

5.2.5 Préparation pour la méthode du tube de prélèvement de fond

1. Décanter l'eau naturelle surnageante, exempte de sédiments, de l'échantillon à l'aide d'une pipette, et introduire le volume ainsi retiré dans une éprouvette graduée de 100 mL. Poursuivre ce processus de décantation, par multiples de 100 mL, jusqu'à ce qu'il ne reste qu'environ 300 mL du mélange d'échantillon initial. Le volume total décanté est consigné en tant que rejet.

2. Transférer la fraction d'échantillon dans un tube de prélèvement de fond, et noter la hauteur de la colonne.

3. Rincer la bouteille d'échantillon à l'aide d'eau distillée et recueillir le liquide dans le tube; compléter le niveau de l'échantillon dans le tube à 100 cm. Fermer l'extrémité supérieure du tube à l'aide d'un couvercle de caoutchouc, et placer le tube dans un support.

4. Placer la ou les bouteilles à échantillon sur un support de séchage, avec l'ouverture vers le bas, et laisser sécher. Peser la ou les bouteilles à échantillon et soustraire le poids à vide du «poids brut» aux fins de vérification du volume d'échantillon total du mélange eau-sédiments.

5.2.6 Dispersion de l'échantillon d'analyse par tube de prélèvement de fond

1. En tenant le tube à deux mains, avec l'une à peu près au milieu et l'autre tenant le couvercle de caoutchouc à l'extrémité supérieure du tube, incliner la pointe du tube dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à environ 10° par rapport au plan horizontal. Garder le tube dans cette position et l'agiter par un mouvement de va-et-vient tout en maintenant la bulle à l'extrémité de la pointe de façon à entraîner les particules grossières hors de la pointe effilée.

2. Abaisser l'extrémité de la pointe du tube jusqu'à environ 10° par rapport à la verticale pour permettre à la bulle d'air de monter à l'extrémité supérieure du tube.

3. Lorsque la bulle d'air a atteint l'extrémité supérieure, soulever la pointe jusqu'à environ 10° par rapport à la verticale, de telle façon que la bulle traverse toute la longueur du tube jusqu'à l'extrémité de la pointe.

4. Faire pivoter ainsi le tube pendant 3 minutes en faisant circuler la bulle sur toute la longueur du tube à partir de la pointe jusqu'au couvercle et inversement, en roulant le tube de façon à répartir les particules aussi uniformément que possible. À la fin de cette période, lorsque la bulle se trouve à l'extrémité de la pointe, tourner immédiatement le tube en position verticale et le fixer solidement au support mural.

5. Le temps écoulé commence pour le processus de sédimentation lorsque la bulle effectue sa dernière traversée vers le haut à partir de l'extrémité de la pointe du tube.

6. Une fois que la bulle a atteint la partie supérieure du tube, enlever le couvercle en caoutchouc.

7. Lire et noter la température de la pièce.

5.2.7. Technique d'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond

Choisir un ensemble de 10 récipients d'évaporation préalablement pesés et numérotés. Noter le numéro et le poids à vide de chaque récipient.

Dix volumes à peu près égaux (tirages) sont prélevés pendant des intervalles de temps (écoulé) préétablis. Chaque prélèvement (tirage) devrait représenter une hauteur de colonne d'environ 10 cm $\pm$ 2 cm.

Le prélèvement commence réellement une seconde avant le temps de prélèvement préétabli. Pour éliminer tout risque de perte de matières par éclaboussures, les volumes prélevés doivent être recueillis dans un bécher de 300 mL.

Des exemples de divers programmes de temps écoulé de prélèvement pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond, à raison de trois échantillons par jour, sont présentés au tableau 3, A, B et C.

Tableau 3. Programmes de temps écoulé pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond

		(B)		(C)	
Heure indiquée	Temps écoulé (min)	Heure indiquée	Temps écoulé (min)	Heure indiquée	Temps écoulé (min)
7:30	0	8:00	0	8:30	0
7:30.5	1/2	8:00.5	1/2	8:30.5	1/2
7:31	1	8:01	1	8:31	1
7:32	2	8:02	2	8:32	2
7:35	5	8:05	5	8:35	5
7:43	13	8:13	13	8:43	13
8:02	32	8:32	32	9:02	32
8:50	80	9:20	80	9:50	80
10:10	160	10:40	160	11:10	160
15:00	450	15:00	420	16:00	450
15:01	451	15:01	421	16:01	451

Pour l'analyse d'échantillons renfermant des concentrations de limon-argile extrêmement fins, le tableau 4, A, B et C présente les programmes proposés de temps écoulés prolongés.

Tableau 4. Programmes de temps écoulé prolongé pour l'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond

		(B)		(C)	
Heure indiquée	Temps écoulé (min)	Heure indiquée	Temps écoulé (min)	Heure indiquée	Temps écoulé (min)
0740	0	0755	0	0810	0
0741	1	0756	1	0811	1
0743	3	0758	3	0813	3
0747	7	0802	7	0817	7
0759	19	0814	19	0829	19
0825	45	0840	45	0855	45
0930	110	0945	110	1000	110
1150	250	1205	250	1220	250
1330	350	1345	350	1400	350
1510	450	1525	450	1540	450
1511	451	1526	451	1541	451

5.2.8 Méthode d'analyse à l'aide du tube de prélèvement de fond

Voici les étapes de la méthode à suivre pour chaque «prélèvement» (tirage) à l'aide du tube de prélèvement de fond.

1. Le couvercle étant enlevé, le premier tirage représente une «hauteur de chute» de 10 cm, prélevé 30 secondes après le début de l'ascension de la bulle d'air à partir de l'extrémité de la pointe du tube. Desserrer complètement la pince entourant le caoutchouc de façon à libérer tout sédiment déposé dans l'aire obstruée de la pointe, puis resserrer la pince. La période totale de décantation n'est pas le temps pendant lequel la pince est desserrée, mais celui pendant lequel elle est fermée.

2. Lire et noter la «hauteur de chute».

3. Effectuer le second tirage après 1 min de «temps écoulé».

4. Lire et noter la «hauteur de chute».

5. Effectuer le prochain tirage à un «temps écoulé» de 2 min.

6. Lire et noter la «hauteur de chute».

7. Effectuer le prochain tirage à un «temps écoulé» de 5 min.

8. Lire et noter la «hauteur de chute».

9. Lire et noter la «température» de la pièce. Si la température de la pièce est très irrégulière, des lectures plus fréquentes sont nécessaires.

10. Continuer à effectuer des tirages d'environ 10 cm à des «temps écoulés» de 13 et 32 min; lire et noter la «hauteur de chute» après chaque tirage.

11. Effectuer le prochain tirage à un «temps écoulé» de 80 min.

12. Lire et noter la «hauteur de chute».

13. Continuer à effectuer des tirages d'environ 10 cm à des «temps écoulés» de 160, 450 et 451 min; lire et noter la «hauteur de chute» après chaque tirage.

14. Transvaser soigneusement chaque tirage dans un récipient d'évaporation. Laver les parois du bécher à l'aide d'un jet d'eau distillée.

15. Placer les récipients d'évaporation dans une étuve et laisser évaporer à sec, puis chauffer à 105 °C pendant 1 h.

16. Transférer les récipients d'évaporation directement de l'étuve à un dessiccateur, et les laisser refroidir à la température de la pièce plus 1 °C. Des doigts en caoutchouc doivent être utilisés pour tout transfert de récipient d'évaporation du dessicateur à la balance et vice versa.

17. Peser chaque récipient sur une balance de précision et noter le «poids brut». Remettre le récipient dans le dessiccateur pour l'éventualité d'une purification ultérieure.

6. RELEVÉ DES DONNÉES RELATIVES AU TUBE DE PRÉLÈVEMENT DE FOND

Les données consignées et les calculs nécessaires pour obtenir les coordonnées de la courbe d'Odén sont inscrits dans la formule d'analyse granulométrique par tube d'extraction de fond (figure 7).

BOTTOM WITHDRAWAL TUBE PARTICLE SIZE ANALYSIS
ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TUBE D'EXTRACTION DU FOND

Stream / Cours d'eau
Location / Endroit
Station No. / N° de station
Type of Sample / Type d'échantillon
Date sample taken / Date d'échantillonnage
Sample No. / N° d'échantillon

Tube No./N° du tube
Calibration/Calibrage
Calibration Height/Hauteur de la colonne ____ cm
Volume ____ cc
Less CuSo4/Moins CuSo4 ____ cc
Net Volume/Volume net ____ cc
Temperature/Température ____ °C
Sediment/Sédiment ____ gr
Concentration ____ mg/L

DISSOLVED SOLIDS/MATIERES DISSOUTES
Dish No. / N° du récipient
Gross Weight / Poids brut ____ gr
Tare Weight / Poids à vide ____ gr
Net Weight / Poids net ____ gr
Volume ____ gr
Solids / Solides ____ mg/L

Clock Time / Heure	Elapsed Time in Minutes / Temps écoulé en minutes	Fall Height cm / Hauteur de la chute en cm	Weight on Tray cm / Poids sur le plateau en cm	Dish No. / N° du récipient	Weight in grams / Poids en grammes: Gross Brut	Tare A vide	Sediment + Dissolved Solids (8) - (7) / Sédiments + matières dissoutes	Dissolved Solids (corrected) = (6) / Matières dissoutes corrections	Net Sediment (8) - (9) / Sédiments nets	Cum. (Read off) / Total cumulatif	Degree Factor 100/(12) / Facteur de profondeur	Sediment in Suspension 100 cm Fall (11) x (12) / Sédiment en suspension après chute de 100 cm	Percent in Suspension / Pourcentage en suspension	Minutes to Settle 100 cm (2) x (12) / Temps requis pour le décantation de 100 cm (min)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		100.0	00											

(Dissolved Solids) Correction/Matières dissoutes (correction): Volume Stream water used/Volume d'eau naturelle utilisée ____ cc
Solids/Solides ____ mg/L
Correction for 1cm Column/Corr. pour une colonne 1cm ____

Analysed by/Analysé par ____ Date ____
Computed by/Calculé par ____ Date ____
Checked by/Vérifié par ____ Date ____

047 2196 (11 77) A265

Figure 7. Analyse granulométrique par tube de prélèvement de fond.

6.1 Calcul des données pour l'analyse par tube d'extraction de fond

Les étapes suivantes sont nécessaires pour compléter les calculs relatifs à l'analyse granulométrique par tube d'extraction de fond (figure 7).

1. Calculer le «volume d'eau naturelle utilisée» lors de l'étalonnage, section 5.2.2 (6), et la «hauteur de chute», section 5.2.5 (2).

2. Calculer la valeur de «matières dissoutes», comme suit :

$$\text{Matières dissoutes, mg/L} = \frac{\text{Poids net (g)}}{\text{Volume (mL)}} \times \frac{1000\ \text{mL}}{\text{L}} \times \frac{1000\ \text{mg}}{\text{g}}$$

3. Calculer la «correction pour une colonne de 1 cm» en faisant le produit du «volume d'eau naturelle utilisée» par la valeur «matières dissoutes» :

$$D_{SC} = \frac{T_{DS} \times S_w}{A \times B \times C}$$

où : D_{SC} = Correction matières dissoutes pour une colonne de 1 cm (g)
T_{DS} = Matières dissoutes, total (mg/L)
S_w = Volume d'eau naturelle utilisée, en mL
A = 1000 mL par litre
B = 1000 mg par gramme
C = 100 cm

4. Les colonnes 1, 2, 5 et 7 sont remplies pendant la préparation de l'échantillon, la colonne 3 est remplie durant l'analyse, et la colonne 6 pendant la pesée des récipients.

5. Le «tirage» (colonne 4) est calculé : c'est la différence entre la «hauteur de chute» (colonne 3) d'un tirage et la «hauteur de chute» du tirage précédent.

6. La valeur «sédiments plus matières dissoutes» (colonne 8) est obtenue en soustrayant le «poids à vide» (colonne 7) du «poids brut» (colonne 6).

7. La «correction matières dissoutes» (colonne 9) est le produit de la «correction pour une colonne de 1 cm» et du «tirage» (colonne 4).

8. La valeur «sédiments nets» (colonne 10) est obtenue en soustrayant la colonne 9 de la colonne 8.

9. Le poids cumulatif de sédiments en suspension (colonne 11) est obtenu par addition cumulative des «poids nets» (colonne 10), en commençant par le dernier prélèvement.

10. Le «facteur de profondeur» (colonne 12) est obtenu en divisant la «hauteur de chute» de 100 cm par la «hauteur de chute» consignée pour chaque tirage (colonne 3).

11. La valeur «sédiments en suspension» (colonne 13) est obtenue en multipliant les valeurs de la colonne 11 par celles de la colonne 12.

12. Le «pourcentage en suspension» (colonne 14) est le rapport de la valeur «particules en suspension» (colonne 13) aux «sédiments en suspension, total».

13. Le «temps requis pour la décantation de 100 cm» (colonne 15) est obtenu en faisant le produit du «temps écoulé en minutes» (colonne 2) par le «facteur de profondeur» (colonne 12). Ce calcul permet de limiter les temps observés de décantation et les poids en suspension à une profondeur constante de 100 cm.

648 664
373 368

275 + 296 = 571

BOTTOM WITHDRAWAL TUBE PARTICLE SIZE ANALYSIS
ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TUBE D'EXTRACTION DU FOND

Stream / Cours d'eau: ASSINIBOINE RIVER
Location / Endroit: AT HEADINGLEY
Station No. / N° de station: 05MJ001
Type of Sample / Type d'échantillon: DI
Date sample taken / Date d'échantillonnage: APRIL 14, 1983
Sample No. / N° d'échantillon: 4338 AB

Tube No./N° du tube: 3
Calibration/Calibrage: 5.10
Column Height/Hauteur de la colonne: 73.2 cm
Volume: 100 + 100 + 373 = 573 cc
Less CuSo4 /Moins CuSo4: 2 cc
Net Volume/Volume net: 571 cc
Temperature/Température: 24.0 °C
Sediment/Sédiment: 0.3059 g
Concentration: 536 mg/L

DISSOLVED SOLIDS/MATIERES DISSOUTES

Dish No. / N° du récipient: 95X
Gross Weight / Poids brut: 43.6861 g
Tare Weight / Poids à vide: 43.6575 g
Net Weight / Poids net: 0.0286 g
Volume: 100 g
Solids / Solides: 286 mg/L

Clock Time Heure	Elapsed Time on Station Temps écoulé en minutes	Fall Height cm Hauteur de la chute en cm	Drop in Temp. cm Chute de temp. en cm	Dish No. N° du récipient	Weight in grams/Poids en grammes: Gross Brut	Tare À vide	Sediment + Dissolved Solids (8) - (7) Sédiments + matières dissoutes	Dissolved Solids (corrn.) = (6) Matières diss. corrections	Net Sediment (8) - (9) Sédiments nets	Cum (Fract wt) Poids cumulatif	Depth Factor 100/(3) Facteur de profondeur	Sediment in Suspension 100 cm Fall (11) x (12) Part. en suspension chute de 100 cm	Percent in Suspension Pourcentage en suspension	Elapsed to Settle 100 cm (3) x (12) Temps requis pour la décantation de 100 cm (min)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0745	0.0	100.0	00							0.3059	1.000	0.3059	100.0	0.00
0745.5	0.5	90.0	10.0	81	46.8305	46.7841	0.0464	0.0107	0.0357	0.2702	1.111	0.3002	98.1	0.56
0746	1.0	79.8	10.2	82	38.2235	38.1840	0.0445	0.0109	0.0336	0.2366	1.253	0.2965	96.9	1.25
0747	2.0	69.9	9.9	83	34.4284	34.3960	0.0424	0.0106	0.0318	0.2048	1.431	0.2931	95.8	2.86
0750	5.0	60.0	9.9	84	37.8001	37.7572	0.0429	0.0106	0.0323	0.1725	1.667	0.2876	94.0	8.34
0758	13.0	50.1	9.9	85	36.2735	36.2280	0.0455	0.0106	0.0349	0.1376	1.996	0.2746	89.8	25.95
0817	32.0	40.0	10.1	86	48.8139	48.7653	0.0496	0.0108	0.0378	0.0998	2.500	0.2495	81.6	80.00
0905	80.0	30.1	9.9	87	44.2234	44.1746	0.0488	0.0106	0.0382	0.0616	3.322	0.2046	66.9	265.76
1025	160.0	20.2	9.9	88	51.4374	51.3972	0.0402	0.0106	0.0296	0.0320	4.950	0.1584	51.3	792.00
1515	450.0	10.2	10.0	89	49.7038	49.6711	0.0327	0.0107	0.0220	0.0100	9.804	0.0980	32.0	4411.80
1516	451.0	0.0	10.2	90	32.9996	32.9687	0.0209	0.0109	0.0100					

Dissolved Solids Correction/Matières dissoutes (correction): Volume Stream water used/Volume d'eau naturelle utilisée: 373 cc
Solids/Solides: 296 mg/L
Correction for Sam Columns/Corr. pour une colonne Lem: 0.00107 g

Analyzed by/Analysé par: CDN Date: Jul.20/83
Computed by/Calculé par: CDN Date: Jul.21/83
Checked by/Vérifié par: SAS Date: Jul.22/83

DISCARD 100 mL.

Figure 8. Exemple de formule remplie pour l'analyse granulométrique par tube de prélèvement de fond.

7. COURBE D'ODÉN

7.1 Théorie d'Odén pour la décantation des particules

L'analyse par tube d'extraction de fond (BWTA) est l'une des méthodes normalisées utilisées pour l'analyse granulométrique des échantillons de sédiments en suspension. La méthode BWTA est fondée sur le principe d'un système de décantation à dispersion uniforme, proposé la première fois par Odén (1915).

> «À mesure que les particules dans une dispersion uniforme se déposent, la densité et la pression hydrostatique en tout point de la suspension diminuent avec le temps. Odén a montré que cette théorie pouvait s'appliquer de deux façons. L'état de la suspension peut être déterminé, qu'il s'agisse de la densité ou de la pression hydrostatique, sur toute la profondeur du récipient, à un instant donné ou en un point donné à divers moments. En d'autres termes, la densité ou la pression peuvent être étudiées à diverses profondeurs à un moment donné, ou à une profondeur donnée avec le temps comme variable. Si le récipient renfermant la suspension était divisé en dix sections par exemple, la pression hydrostatique ou la densité pourraient être mesurées simultanément dans chaque section. Cela permettrait alors de définir les conditions à un instant donné, avec la profondeur comme variable. Si la pression ou la densité sont mesurées dans l'une de ces sections à différents moments, l'étude serait de type à distance fixe et à temps variable».

La théorie d'Odén s'appuie sur les quatre hypothèses suivantes : 1) le rayon des particules ne varie que faiblement; 2) la température pendant l'analyse demeure constante; 3) la dispersion des particules est complète; 4) il n'y a aucune interférence entre les particules pendant la descente. Après la dispersion des sédiments à travers tout le tube d'extraction de fond et le début de la décantation des particules, l'accumulation au fond du tube au temps t ne comprendra pas seulement les particules assez grosses pour tomber sur toute la longueur du tube, mais également des particules plus petites dont la distance de chute est plus petite. On peut alors tracer une courbe d'accumulation, comme le montre la figure 9, avec en abscisse le temps et en ordonnée le poids de la quantité totale de matières qui se sont déposées dans une colonne fixe de 100 cm.

L'application directe de la théorie d'Odén dans le cas d'un échantillon donné de sédiments nécessitera une répartition granulométrique uniforme, mais ce type de répartition n'existe généralement pas. C'est pourquoi, on adopte généralement la méthode graphique BWTA. La courbe Odén comprend les tangentes qui coupent l'axe des «y» en un point (F), lequel représente la fraction de matières plus fines que celles qui seraient décantées le long du tube d'extraction de fond dans le temps «t».

La tangente à la courbe d'Odén pour une valeur granulométrique donnée, mesurée en temps, est tracée de façon à intercepter l'axe des ordonnées, ce qui donne le «pourcentage plus fin que» correspondant à la particule choisie. Mais, l'intervalle de temps couvrant la décantation des sédiments est si grand, et les points mesurés sont si inégalement répartis le

long de l'échelle du temps, qu'il est difficile d'obtenir une courbe continue avec une précision acceptable sur une feuille à coordonnées rectangulaires. Pour surmonter cette difficulté, la courbe est divisées en plusieurs segments (figure 10), avec chevauchement entre deux segments adjacents (Rapport n° 7, Inter-Agency Committee on Water, 1943).

7.2 Tracé manuel de la courbe d'Odén

On peut tracer la courbe d'Odén grâce aux valeurs de «pourcentage en suspension» (colonne 14) et aux «temps requis pour la décantation de 100 cm» (colonne 15). La courbe sera constituée de quatre segments, avec des points se chevauchant sur chaque courbe. L'échelle du temps requis pour la décantation de 100 cm doit être choisie de telle façon qu'au moins deux points se chevauchent sur les courbes successives. Une courbe lisse tracée le long des points permet d'obtenir les quatre segments.

On a constaté que la division de la courbe d'Odén en segments était à l'origine, dans certains cas, d'aberrations par rapport à la courbe continue (Rapport n° 10, Inter-Agency Committee on Water, 1953). À noter tout particulièrement qu'avec les calculs manuels, il est difficile de tracer avec exactitude la partie droite des courbes C et D (figure 10), en raison de l'extension d'échelle. La pente de la courbe modifie sensiblement le point d'intersection de la tangente avec l'axe du pourcentage... Une tangente à une courbe, lorsque la pente est trop raide ou la courbe trop prononcée, ne peut logiquement donner la précision souhaitée»[1].

Une fois les courbes tracées, il faut utiliser le «temps requis pour la décantation» (tableau 3). Après localisation de la température à laquelle l'échantillon a été analysé, dans la première colonne, on obtient la valeur en temps correspondant au «diamètre de la particule en mm». Sur la courbe d'Odén, localiser chacune de ces valeurs, à l'échelle appropriée, et tracer une tangente qui coupe l'axe représentant le «pourcentage en suspension». Lire la valeur sur cet axe.

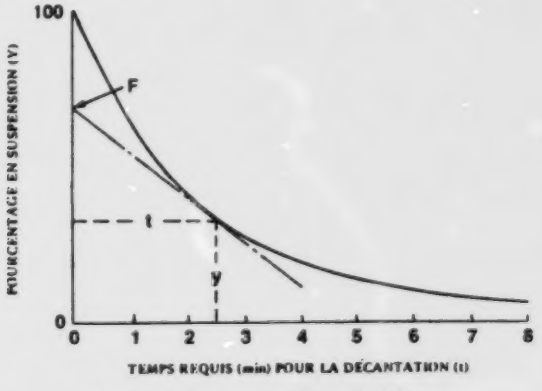


Figure 9. Courbe d'Odén.

[1] Sedimentation Engineering, page 424.

S'il y a une aberration au niveau des tangentes coupant l'axe du «pourcentage en suspension», résultant soit d'un manque d'uniformité de la répartition granulométrique dans l'échantillon, soit d'une erreur dans le tracé des segments de courbe, la valeur utilisée pour l'obtention de la «courbe de répartition granulométrique» (figure 11) sera la moyenne des deux tangentes qui se chevauchent.

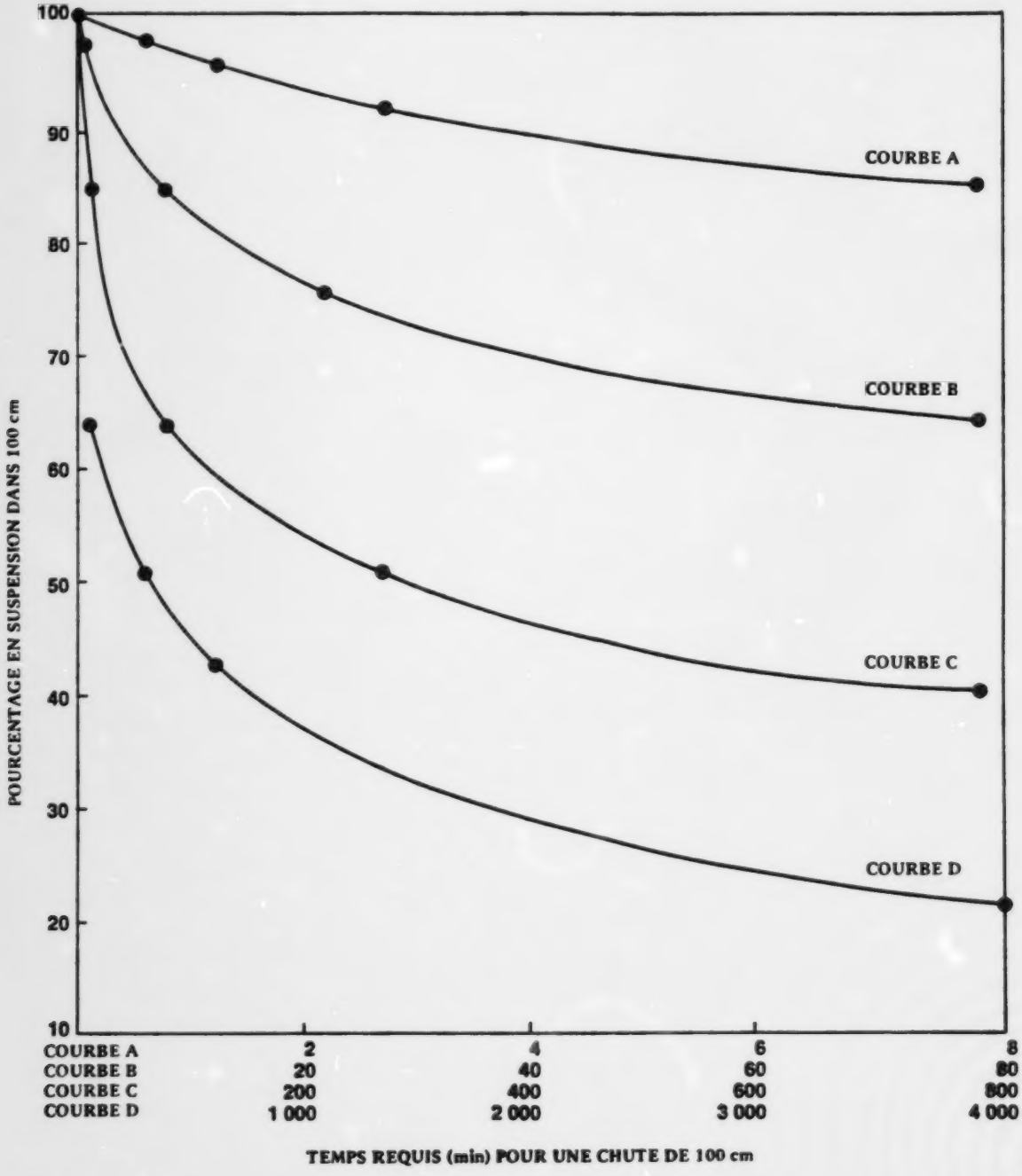


Figure 10. Courbe d'Odén, fractionnée en segments.

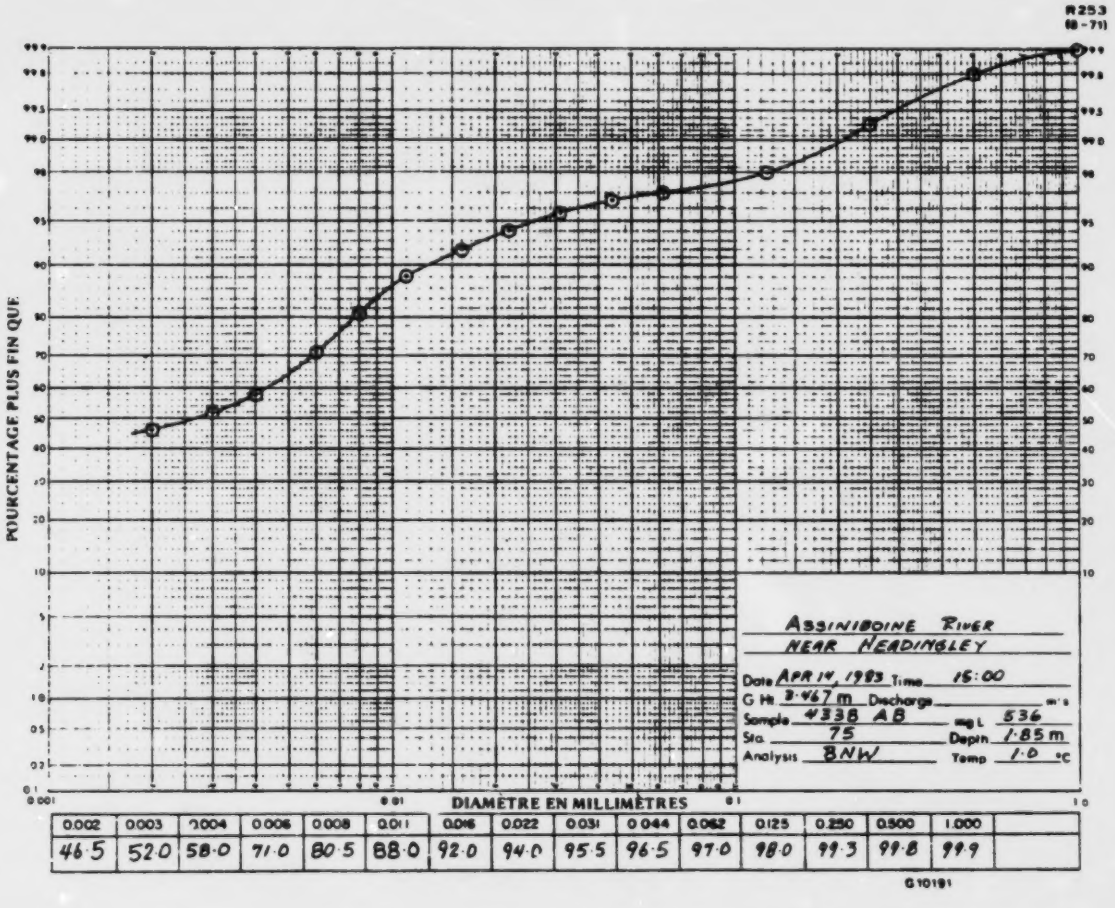
Tableau 5. Temps requis pour la décantation en minutes, à utiliser avec la courbe d'Odén

Temp. °C	1.000	0.500	0.250	0.125	.0625	.044	.031	.022	.016	.011	.008	.006	.004	.003	.002
10	0.115	0.243	.592	1.73	6.22	12.4	24.9	49.7	99.6	200	399	802	1594	3182	6380
11	0.114	0.240	.577	1.68	6.03	12.1	24.2	48.3	96.9	195	388	780	1551	3095	6206
12	0.113	0.237	.568	1.65	5.87	11.7	23.6	46.9	94.2	189	377	758	1507	3007	6031
13	0.112	0.233	.562	1.62	5.72	11.4	22.9	45.7	91.6	184	367	737	1466	2927	5868
14	0.111	0.232	.552	1.59	5.57	11.1	22.3	44.5	89.2	180	357	718	1428	2850	5715
15	0.110	0.228	.543	1.56	5.42	10.8	21.7	43.3	86.9	175	348	698	1391	2776	5566
16	0.109	0.227	.538	1.53	5.27	10.6	21.2	42.2	84.6	170	339	681	1354	2703	5421
17	0.108	0.225	.528	1.50	5.15	10.3	20.6	41.1	82.5	166	330	664	1320	2633	5285
18	0.107	0.222	.522	1.48	5.02	10.0	20.1	40.1	80.5	162	322	647	1288	2570	5154
19	0.107	0.220	.515	1.45	4.88	9.77	19.6	39.1	78.5	158	314	631	1256	2507	5026
20	0.106	0.218	.508	1.41	4.77	9.53	19.2	38.2	76.6	154	306	616	1225	2445	4904
20.5	0.106	0.217	.505	1.40	4.72	9.43	19.0	37.8	75.8	153	303	609	1212	2418	4849
21	0.105	0.217	.503	1.39	4.67	9.32	18.7	37.3	74.9	151	299	602	1198	2391	4794
21.5	0.105	0.215	.500	1.38	4.61	9.21	18.5	36.9	74.0	149	296	600	1179	2362	4735
22	0.104	0.213	.497	1.37	4.55	9.10	18.3	36.4	73.0	147	292	587	1168	2332	4675
22.5	0.104	0.213	.492	1.36	4.50	8.99	18.1	36.0	72.2	145	289	580	1155	2305	4621
23	0.104	0.212	.488	1.34	4.45	8.88	17.8	35.5	71.3	143	285	574	1141	2277	4566
23.5	0.104	0.210	.487	1.33	4.39	8.78	17.6	35.1	70.5	142	282	567	1128	2251	4514
24	0.103	0.210	.485	1.32	4.33	8.67	17.4	34.7	69.6	140	279	560	1114	2225	4461
24.5	0.103	0.210	.480	1.31	4.29	8.58	17.2	34.3	68.9	139	276	554	1102	2200	4411
25	0.103	0.208	.478	1.30	4.25	8.48	17.0	33.9	68.1	137	273	548	1090	2175	4361
25.5	0.102	0.208	.475	1.29	4.20	8.38	16.9	33.6	67.4	136	270	541	1078	2151	4312
26	0.102	0.207	.472	1.28	4.15	8.28	16.7	33.2	66.6	134	266	534	1065	2126	4263
27	0.101	0.205	.467	1.26	4.05	8.10	16.3	32.4	65.1	131	260	524	1042	2076	4169
28	0.101	0.203	.462	1.24	3.97	7.93	15.9	31.7	63.7	128	255	512	1019	2034	4079
29	0.100	0.202	.455	1.22	3.88	7.77	15.6	31.1	62.3	125	249	501	997	1990	3991
30	0.9998	0.200	.450	1.20	3.80	7.60	15.3	30.4	61.0	123	244	491	976	1948	3907
31	0.0991	0.198	.445	1.18	3.71	7.43	14.9	29.8	59.7	120	239	481	956	1908	3825
32	0.0987	0.197	.442	1.17	3.65	7.28	14.6	29.2	58.5	118	234	471	936	1869	3747

Diamètre des particules en mm.

7.3 Courbe de la répartition granulométrique

Le «pourcentage en suspension» de la «courbe d'Odén» devient le pourcentage plus fin que et est transféré au tableau à la partie inférieure de la formule R-253. Les valeurs sont ensuite représentées et une courbe lisse est tracée le long des points (figure 11).



0.002	0.003	0.004	0.006	0.008	0.011	0.016	0.022	0.031	0.044	0.062	0.125	0.250	0.500	1.000	
46.5	52.0	58.0	71.0	80.5	88.0	92.0	94.0	95.5	96.5	97.0	98.0	99.3	99.8	99.9	

Figure 11. Courbe de la répartition granulométrique.

7.4 Calcul interactif de la répartition granulométrique

Afin de faciliter le tracé de la courbe d'Odén et de réaliser des économies en personnes-heures nécessaires aux laboratoires pour l'analyse des échantillons de sédiments servant à déterminer la répartition granulométrique, un programme informatisé «BWTA» a été élaboré pour l'unité centrale CYBER du Centre de services informatiques, d'Énergie, Mines et Ressources Canada à Ottawa; il peut être exploité soit avec le mini-système PDP11/44 ou les micro-ordinateurs Professional 350, installés dans chacun des Bureaux régionaux.

Le SYSTEM a été conçu pour un terminal compatible VT100 connecté à un mini-système utilisant le programme FORM. Le SYSTEM incorpore toutes les normes utilisées par les laboratoires de la DRHC. Il a été conçu pour dix tirages par échantillon, mais il peut également en accepter seulement sept. Un nouveau fichier principal doit être créé chaque année, l'ancien fichier étant alors conservé pour l'éventualité d'une utilisation future.

7.4.1 Méthode pour le BWTA SYSTEM

La méthode pour l'analyse par tube d'extraction de fond, appelée BWTA SYSTEM, est conçue pour le terminal compatible VT100 connecté à un mini-système PDP11/44, avec le programme FORM. Le SYSTEM incorpore toutes les normes utilisées par les laboratoires du DRHC. Il a été conçu pour dix tirages par échantillon, mais peut également en accepter seulement sept. Les échantillons sont conservés dans les fichiers principaux annuels. Ces fichiers principaux sont classés selon :

a) le numéro de station
b) la date de prélèvement d'un échantillon pour chaque numéro de station
c) le numéro de l'échantillon et la date de son prélèvement, pour chaque numéro de station.

Un nouveau fichier principal doit être créé chaque année, et l'ancien conservé pour utilisation et mise à jour futures.

7.4.2 Accès au BWTA SYSTEM

1. Entrer le compte Sédiments sur le mini-système PDP11/44.
   L'ordinateur répond par : $>

2. Entrer «@BWTA». Appuyer la touche «RETOUR».
   On est maintenant dans le BWTA SYSTEM. Le menu principal suivant va apparaître :

ENTRER L'UN DES CODES SUIVANTS :

CODE	DESCRIPTION
A	ajouter un ou plusieurs nouveaux échantillons au fichier principal
C	corriger un ou plusieurs échantillons sur le fichier principal
D	effacer un ou plusieurs échantillons sur le fichier principal
G	obtenir la représentation d'un ou de plusieurs échantillons sur le fichier principal
L	récupérer un ou plusieurs échantillons sur le fichier principal
I	initier un nouveau fichier annuel
M	menu principal
O	obtenir la liste sommaire des échantillons sur le fichier principal
R	rappeler l'année du fichier principal
S	arrêter l'exécuttion

?

3. Entrer le code pour l'instruction souhaitée. Suivre l'instruction pour effectuer la tâche correspondante.

4. Lorsqu'on a terminé avec le BWTA SYSTEM, entrer «S». L'ordinateur indique «$>».

5. Entrer «LOG». Appuyer sur la touche «RETOUR».

Note:

a) On peut entrer un «M» et appuyer sur la touche «RETOUR» dans le premier domaine de tout programme FORM pour revenir au menu principal.

b) On peut entrer un «S» et appuyer sur la touche «RETOUR» dans le premier domaine de tout programme FORM pour sortir du BWTA SYSTEM.

c) Pour tous les FORMS avec zones multiples, utiliser la touche «TAB» pour terminer une zone et (ou) avancer à la zone suivante. À remarquer que certaines zones peuvent automatiquement passer à la zone suivante lorsqu'elles sont remplies.

d) Pour tous les FORMS avec zones multiples, utiliser la touche «espacement arrière» pour passer dans la zone précédente.

e) La touche «EFFACER» sert à effacer le caractère immédiatement à gauche dans une zone. Cela ne peut être effectué que par le curseur lorsqu'il se trouve dans la position la plus à droite d'une zone.

f) Les «FLÈCHES» avant et arrière peuvent servir à se déplacer à l'intérieur d'une zone qui a été précédemment remplie. Cela permet de remplacer un caractère plutôt que de remplir à nouveau toute la zone.

7.4.3 Pour ajouter un ou plusieurs nouveaux échantillons au fichier principal (Entrer un «A» dans le menu principal)

En raison du nombre de zones nécessaires pour l'entrée d'un seul échantillon, les entrées ont été fractionnées en deux FORMS (FORM 1 et FORM 2).

La FORM 1 renferme toute l'information préalable pour un échantillon, à savoir :

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TUBE D'EXTRACTION DE FOND

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

Nom de la station :
Numéro de la station :
Verticale d'échantillonnage :
Date d'échantillonnage :
Type d'échantillon :
Numéro de l'échantillon :

SÉDIMENTS EN SUSPENSION		MATIÉRES DISSOUTES	
Numéro du tube :		Numéro du récipient :	
Étalonnage :	mL/cm	Volume :	100 mL
Volume rejeté :	mL	Poids brut :	g
Hauteur de la colonne :	cm	Poids à vide :	g
Moins $CuSO_4$:	mL	Poids net :	g
Température :	Celsius	Concentration :	mg/L
Volume net :	mL	Correction:	g/cm

On peut maintenant entrer les données pour un échantillon.

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON :

1. Entrer le NOM DE LA STATION correspondant à l'échantillon. Cette zone accepte jusqu'à 62 caractères alphanumériques. Une fois cette zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

2. Entrer le NUMÉRO DE LA STATION correspondant à l'échantillon. Cette zone n'accepte que 2 chiffres, suivis de 2 lettres et de 3 chiffres, par ex. 08AA001. Une fois la zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

3. Entrer la VERTICALE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone accepte 6 caractères alphanumériques et elle doit indiquer l'emplacement de la verticale d'échantillonnage. Malheureusement, on ne possède pas toujours cette valeur, comme c'est le cas pour certains échantillons anciens. On peut donc utiliser le mot «DAILY». Une fois cette zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

4. Entrer la DATE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone n'accepte que les 3 premières lettres du mois, suivies de 2 chiffres pour le jour et de 4 chiffres pour l'année; par ex. JAN011984. Une fois cette zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

5. Entrer le TYPE D'ÉCHANTILLON. Cette zone accepte jusqu'à 3 caractères alphanumériques. L'entrée la plus courante dans cette zone serait «DI» ou «PI». Une fois cette zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

6. Entrer le NUMÉRO D'ÉCHANTILLON. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 12 caractères alphanumériques. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

SÉDIMENTS EN SUSPENSION

7. Entrer le NUMÉRO DU TUBE. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 2 chiffres. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

8. Entrer l'ÉTALONNAGE. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 4 chiffres et une décimale. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

9. Entrer le VOLUME REJETÉ. Cette zone permet d'introduire 6 chiffres ou 5 chiffres et une décimale. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

10. Entrer la HAUTEUR DE LA COLONNE. Cette zone permet d'introduire jusqu'à trois chiffres et une décimale. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

11. Entrer MOINS $CuSO_4$. Cette zone ne permet qu'un chiffre, sans décimale. Une fois cette zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

12. Entrer la TEMPÉRATURE. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 3 chiffres et une décimale. La température doit être en degrés Celsius, et elle doit être arrondie au:
    a) degré le plus près entre 10 et 20 inclusivement;
    b) au demi degré le plus près entre 20 et 26 inclusivement;
    c) au degré le plus près entre 26 et 32 inclusivement.
    Une fois cette zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

MATIÈRES DISSOUTES

13. Entrer le NUMÉRO DU RÉCIPIENT contenant l'échantillon. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 4 caractères alphanumériques. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

14. Entrer le VOLUME de l'échantillon. Cette zone contient «100» comme valeur par défaut, car il s'agit là du volume le plus courant et on passe automatiquement à la suite. Si on veut modifier cette zone, il faut utiliser la touche ESPACEMENT ARRIÈRE. La zone permet d'introduire jusqu'à 3 chiffres, sans décimale. Une fois cette zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

15. Entrer le POIDS BRUT de l'échantillon. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 6 chiffres et une décimale. Une fois la zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

16. Entrer le POIDS À VIDE. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 6 chiffres et une décimale. Le poids à vide doit être inférieur au POIDS BRUT. Une fois cette zone remplie, enfoncer la touche «TAB».

À ce stade-ci, des valeurs sont obtenues pour les zones suivantes :

a) Le POIDS NET calculé est arrondi et affiché avec 4 décimales.
b) Le VOLUME NET calculé est arrondi et affiché avec une décimale.
c) La CONCENTRATION calculée est arrondie selon les normes DRHC, et affichée sans décimale.
d) La CORRECTION calculée est arrondie et affichée avec 5 décimales.

La FORM 1 est maintenant terminée. Un exemple de ce programme est donné ci-dessous :

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TUBE D'EXTRACTION DE FOND

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

Nom de la station :	Rivière Assiniboine près de Holland
Numéro de la station :	05MH005
Verticale d'échantillonnage :	73
Date d'échantillonnage :	17 avril 1980
Type d'échantillon :	DI
Numéro de l'échantillon :	A-9004 AB

SÉDIMENTS EN SUSPENSION		MATIÈRES DISSOUTES	
Numéro du tube :	8	Numéro du récipient :	86 X
Étalonnage :	5.17 mL/cm	Volume :	100 mL
Volume rejeté :	300 mL	Poids brut :	53.7236 g
Hauteur de la colonne :	57 cm	Poids à vide :	53.6736 g
Moins $CuSO_4$:	2 mL	Poids net :	0.0500 g
Température :	22 Celsius	Concentration :	500 mg/L
Volume net :	692.7 mL	Correction:	0.00147 g/cm

L'ordinateur affiche maintenant ce qui suit :

Enfoncer la touche «RETOUR» pour passer à la prochaine section du BWTA

Ce message décalé vous permet de revoir les résultats calculés et de repasser à travers cette section grâce à la touche ESPACEMENT ARRIÈRE pour corriger toute erreur.

Une fois les résultats vérifiés, enfoncer la touche «RETOUR» pour passer à la section FORM 2.

La section FORM 2 renferme tous les renseignements sur les tirages et les résultats finals pour un échantillon. On donne ci-après un exemple de FORM 2 :

Analyse granulométrique par tube d'extraction de fond

Temps écoulé	Hauteur de chute	Tirage	Numéro du récipient	Poids brut	Poids à vide	Poids des sédiments	Pourcentage en suspension	Temps requis pour la décantation
0.0	100.0						100.0	0.0
0.5	.			.	.			
1.0	.			.	.			
2.0	.			.	.			
5.0	.			.	.			
13.0	.			.	.			
32.0	.			.	.			
80.0	.			.	.			
160.0	.			.	.			
450.0	.			.	.			
451.0	.			.	.			

Granulométrie en mm	1.000	0.500	0.250	0.125	0.062	0.044	0.031	0.022
Pourcentage plus fin que								
Granulométrie en mm	0.016	0.011	0.088	0.006	0.004	0.003	0.002	
Pourcentage plus fin que								

Sable % Limon % Argile %
D16: mm mm D84: mm

Poids net total g
Concentration mg/L

On peut maintenant entrer l'information voulue dans la section FORM 2 :

1. Le TEMPS ÉCOULÉ est une valeur par défaut représentant les temps les plus courants, et on passe automatiquement à la suite. Si on veut modifier ces valeurs, il faut utiliser la touche «ESPACEMENT ARRIÈRE» pour entrer dans la zone. On peut y introduire jusqu'à 5 chiffres ou 4 chiffres et une décimale. Lorsque cette zone est remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante, sinon il faut enfoncer la touche «TAB» pour y entrer.

2. Entrer la HAUTEUR DE CHUTE. La première HAUTEUR DE CHUTE est fixée à «100.0», valeur par défaut, et on passe automatiquement à la suite. Si on veut modifier cette valeur, il faut utiliser la touche, «ESPACEMENT ARRIÈRE» pour entrer dans la zone. La première zone accepte jusqu'à 4 chiffres, les zones suivantes 3. Chaque HAUTEUR DE CHUTE doit être inférieure à la précédente. L'ordinateur permet un nombre maximal de 10 tirages, mais peut en accepter seulement 7. L'ordinateur saura que vous avez terminé l'entrée des tirages lorsque la HAUTEUR DE CHUTE est de 0.0. Il fixe aussi préalablement la onzième HAUTEUR DE CHUTE à 0.0 et passe automatiquement à la suite. Une fois cette zone remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante, sinon il faut enfoncer la touche «TAB» pour y entrer.

   Les tirages sont calculés et affichés avec une décimale.

3. Entrer le premier NUMÉRO DE RÉCIPIENT. Le premier NUMÉRO DE RÉCIPIENT doit être entré sous forme de nombre allant jusqu'à 3 chiffres. Tous les numéros de récipient suivants sont calculés en ajoutant une unité

au numéro précédent. L'ordinateur l'affiche et passe automatiquement à la suite. Si on veut changer le numéro, il faut utiliser la touche «ESPACEMENT ARRIÈRE» pour entrer dans la zone. Si l'un des numéros de récipient est changé, l'ordinateur calculera à nouveau les autres numéros de récipient, et affichera les zones ainsi modifiées. Une fois la zone remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la prochaine zone, sinon il faut enfoncer la touche «TAB» pour y entrer.

4. Entrer le POIDS BRUT de chaque tirage. La zone permet d'introduire jusqu'à 6 chiffres : les 2 premiers précèdent la décimale; les 4 chiffres suivants sont des décimales. Une fois cette zone remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante, sinon il faut appuyer sur la touche «TAB» pour y entrer.

5. Entrer le POIDS À VIDE de chaque tirage. Cette zone permet d'introduire jusqu'à 6 chiffres : les 2 premiers avant le point, les 4 derniers après. La valeur doit être inférieure au poids brut. Une fois cette zone remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante, sinon il faut appuyer sur la touche «TAB» pour y entrer.

Le POIDS DES SÉDIMENTS est calculé et affiché avec 4 décimales.

6. Répéter les étapes 1 à 5 de façon à entrer tous les tirages.

À ce stade-ci, des valeurs ont été obtenues pour les domaines suivants:

- Le POURCENTAGE EN SUSPENSION est calculé, arrondi et affiché avec une décimale.
- Le TEMPS REQUIS POUR LA DÉCANTATION est calculé, arrondi et affiché avec une décimale.
- La GRANULOMÉTRIE en mm est préétablie et ne peut être modifiée. Elle est affichée avec 3 décimales.
- Le POURCENTAGE PLUS FIN QUE est calculé, arrondi et affiché avec une décimale.
- Les valeurs pour le SABLE, le LIMON et l'ARGILE sont calculées, arrondies et affichées avec une décimale.
- Le POIDS NET TOTAL est calculé, arrondi et affiché avec quatre décimales.
- Les valeurs D16, D50 et D84 sont calculées, arrondies et affichées avec 3 décimales.
- La CONCENTRATION est calculée et arrondie conformément aux normes DRHC et affichée sous forme de valeur entière.

Note : 1) Si le POURCENTAGE EN SUSPENSION ne diminue pas par rapport à 100, les résultats POURCENTAGE PLUS FIN QUE, SABLE, LIMON, ARGILE, D16, D50 et D84 seront représentés par ****. Le système mettra à jour le fichier principal pour l'échantillon, en vue d'examens, de modifications ou de suppressions futurs.

2) Étant donné que la courbe d'Odén se rapproche d'une ligne droite parallèle à l'axe des X pour le tirage final, le programme ajoute un point final au POURCENTAGE EN SUSPENSION

et au TEMPS REQUIS POUR LA DÉCANTATION. Pour arriver à ce point final, on soustrait 0.1 du POURCENTAGE EN SUSPENSION final et cette valeur est utilisée avec un TEMPS REQUIS POUR LA DÉCANTATION de 5500 secondes. Ce point supplémentaire permet au programme de lissage de la courbe d'effectuer une interpolation pour toutes les valeurs granulométriques, plutôt que d'extrapoler pour les valeurs plus faibles.

Voici un exemple de FORM 2 remplie :

Analyse granulométrique à l'aide du tube d'extraction de fond

Temps écoulé	Hauteur de chute	Tirage	Numéro du récipient	Poids brut	Poids à vide	Poids des sédiments	Pourcentage en suspension	Temps requis pour la décantation
0.0	100.0						100.0	0.0
0.5	90.0	10.0	71	40.3072	40.2250	0.0822	94.6	0.6
1.0	80.0	10.0	72	53.1273	53.0571	0.0702	91.1	1.2
2.0	69.9	10.1	73	51.4605	51.3876	0.0729	86.0	2.9
5.0	60.0	9.9	74	41.8598	41.7758	0.0840	74.7	8.3
13.0	50.0	10.0	75	53.3944	53.3042	0.0902	56.4	26.0
32.0	40.0	10.0	76	53.1519	53.0814	0.0705	39.8	80.0
80.0	29.7	10.3	77	42.4920	42.4424	0.0496	28.0	269.4
160.0	19.9	9.8	78	46.3130	46.2803	0.0327	21.6	804.0
450.0	10.1	9.8	79	51.6058	51.5780	0.0278	13.4	4455.4
451.0	0.0	10.1	80	44.5007	44.4797	0.0210		

Granulométrie en mm 1.000 0.500 0.250 0.125 0.062 0.044 0.031 0.022
Pourcentage plus fin que 100.0 99.9 95.5 92.1 86.8 80.7 64.6
Granulométrie en mm 0.016 0.011 0.088 0.006 0.004 0.003 0.002
Pourcentage plus fin que 59.2 40.6 33.3 29.2 25.3 20.2 16.4

Sable 7.9% Limon 66.7% Argile 25.4% Poids net total 0.4538 g
D16: ***** mm D50: 0.013 mm D84: 0.038 mm Concentration 655 mg/L

L'ordinateur affiche maintenant ce qui suit:

Appuyer sur la touche «RETOUR» pour continuer le programme BWTA

Ce message-pause vous permet de vérifier les résultats calculés et de corriger toute erreur en passant avec la touche «ESPACEMENT ARRIÈRE» à travers la FORM.

Si les résultats sont acceptables, appuyer sur la touche «RETOUR». L'ordinateur retourne alors à FORM 1 pour l'entrée d'un autre échantillon. On peut alors : soit passer à l'étape 1 de FORM 1;
soit entrer «S» pour sortir du système BWTA;
soit entrer «M» pour revenir au MENU PRINCIPAL.

On sauvegarde tous les échantillons ajoutés sur un fichier intermédiaire jusqu'à la sortie du système BTWA en tapant S ou au retour au MENU PRINCIPAL en tapant M. Une fois M ou S tapé, et la touche TAB enfoncée, l'ordinateur affiche ce qui suit :

Mise à jour du fichier principal, SVP attendre

Le système trie maintenant le fichier immédiat d'échantillons ajoutés, met à jour le fichier principal à l'aide du fichier intermédiaire, et enfin classe les échantillons selon l'ordre voulu dans le fichier principal. Le tri et la mise à jour durent quelques secondes, et, à la fin, on sort du programme après avoir tapé un S, ou on passe au menu principal après avoir tapé un M.

7.4.4 Pour corriger un ou plusieurs échantillons du fichier principal (Taper C dans le menu principal)

Pour apporter des corrections à un ou plusieurs échantillons dans le fichier principal, il faut dire à l'ordinateur quel(s) échantillon(s) on veut corriger. À cette fin, la FORM 3 suivante est affichée :

Entrer les données suivantes :

Numéro de l'échantillon -
Date d'échantillonnage -
Numéro de l'échantillon -

Pour localiser le ou les échantillons à corriger, il faut suivre les étapes suivantes :

1. Entrer le NUMÉRO DE STATION de l'échantillon ou des échantillons. Cette zone doit comporter 2 chiffres suivis de 2 lettres et de 3 chiffres, par ex. 08AA001. Lorsque cette zone est remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante.

2. Entrer la DATE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone ne permet d'entrer que les 3 premières lettres du mois, suivies de 2 chiffres pour le jour et de 4 chiffres pour l'année. Une fois cette zone remplie, on appuie sur la touche «TAB».

3. Entrer le NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON. Cette zone accepte jusqu'à 12 caractères alphanumériques. Lorsqu'on a terminé avec cette zone, il faut appuyer sur la touche «TAB».

Seul le NUMÉRO DE STATION est obligatoire. Les 2 autres zones sont facultatives et elles ne sont utiles que si on veut limiter le nombre d'échantillons à corriger.

Pour terminer cette FORM, il faut utiliser la touche «RETOUR» au lieu de la touche «TAB». Si après avoir entré le NUMÉRO DE STATION, on appuie sur la touche «RETOUR», cela signifie que seul le NUMÉRO DE STATION servira à déterminer quels sont les échantillons à corriger.

L'ordinateur affichera maintenant FORM 1, avec les entrées de toutes les zones de l'échantillon ou des échantillons qu'on veut modifier.

4. S'il n'y a pas de corrections à la FORM 1, passer à l'étape 9.

5. S'il y a une correction à la FORM 1, appuyer sur TAB pour passer à la zone appropriée.

6. Entrer la valeur correcte dans la zone, en suivant les instructions de la section «Ajouter un ou plusieurs échantillons au fichier principal».

7. S'il y a des corrections supplémentaires à la FORM 1, répéter les étapes 5 et 6.

8. Utiliser la touche TAB pour passer dans les zones jusqu'à la fin de la FORM 1.

9. Appuyer sur la touche «RETOUR». L'ordinateur progresse maintenant à la seconde partie de l'échantillon et affiche la FORM 2, avec les entrées conservées dans toutes les zones.

10. S'il n'y a pas de correction à la FORM 2, passer à l'étape 15.

11. S'il y a une correction à la FORM 2, appuyer sur TAB pour passer à la zone appropriée.

12. Entrer la valeur correcte dans la zone en suivant les instructions de la section «Ajouter un ou plusieurs nouveaux échantillons au fichier principal».

13. S'il y a des corrections supplémentaires à la FORM 2, répéter les étapes 5 et 6.

14. À l'aide de TAB, passer dans les zones jusqu'à la fin de la FORM 2.

15. Appuyer sur la touche «RETOUR».

16. Si un autre échantillon satisfait aux conditions voulues, l'ordinateur affichera la FORM 1, avec les entrées conservées dans toutes les zones correspondant à cet échantillon; il faudra alors retourner à l'étape 4.

17. Si aucun autre échantillon ne répond aux conditions voulues, alors l'ordinateur affichera la FORM 3.

18. Pour corriger davantage d'échantillons, il faut retourner à l'étape 1.

19. Entrer dans le premier élément de la zone du NUMÉRO DE STATION :
    «M» pour revenir au MENU PRINCIPAL
    ou «S» pour sortir du système BWTA

7.4.5 Pour effacer un ou plusieurs échantillons dans le fichier principal (Taper D dans le menu principal)

Pour effacer un ou plusieurs échantillons dans le fichier principal, l'ordinateur doit savoir quel(s) échantillon(s) il faut effacer. À cette fin, il affiche la FORM 3 :

Entrer les données suivantes :

Numéro de la station -
Date d'échantillonnage -
Numéro de l'échantillon -

Les étapes nécessaires pour localiser le ou les échantillons à effacer sont les suivantes :

1. Entrer le NUMÉRO DE LA STATION de l'échantillon ou des échantillons. Cette zone doit comporter 2 chiffres, suivis de 2 lettres, et encore de 3 chiffres, par ex. 08AA001. Une fois la zone remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante.

2. Entrer la DATE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone ne permet l'introduction que des 3 premières lettres du mois, suivies de 2 chiffres pour le jour et de 4 chiffres pour l'année. Une fois cette zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

3. Entrer le NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON. Cette zone accepte jusqu'à 12 caractères alphanumériques. Une fois la zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

Seul le NUMÉRO DE LA STATION est obligatoire. Les 2 autres zones sont facultatives, et on n'y accède que si on veut délimiter plus étroitement les échantillons à effacer.

Pour terminer la FORM 3, c'est la touche «RETOUR» qui est utilisée au lieu de la touche «TAB». Si, après l'entrée du numéro de station, on appuie sur la touche «RETOUR», cela signifie que seul le NUMÉRO DE STATION sera utilisé pour déterminer le ou les échantillons à effacer.

L'ordinateur va dès lors chercher dans le fichier principal et vérifier combien d'échantillons satisfont aux conditions d'effacement. L'ordinateur affichera alors ce qui suit :

> Un nombre n d'échantillons sont marqués pour l'effacement, appuyer sur la touche «RETOUR» pour continuer

Ce message est une mise en garde car il vous indique combien d'échantillons répondent à vos conditions d'effacement.

4. Si vous n'êtes pas satisfait du message, passez à l'étape 1.

5. Si vous êtes satisfait du message, appuyez sur la touche «RETOUR». L'ordinateur va maintenant marquer ces échantillons pour effacement,

mais il ne les effacera pas réellement avant l'étape 7. L'ordinateur affiche à nouveau la FORM 3.

6. Si vous voulez effacer davantage d'échantillons, retournez à l'étape 1. Si vous ne voulez effacer aucun échantillon supplémentaire, passez à l'étape 7.

7. Accédez au premier élément de la zone du NUMÉRO DE STATION :
   M pour revenir au menu principal
   ou S pour sortir du système BTWA

   L'ordinateur affiche maintenant :

   Les échantillons sont maintenant effacés, SVP attendre

Le système efface ensuite les échantillons marqués à cette fin, et remet en ordre le fichier principal. Une fois l'effacement terminé, on sort du programme ou on retourne au menu principal, selon la lettre tapée à l'étape 7.

7.4.6 Obtention du tracé d'un ou de plusieurs échantillons du fichier principal (Entrer G dans le menu principal)

Pour obtenir le ou les tracés d'un ou de plusieurs échantillons du fichier principal, l'ordinateur doit savoir quel(s) échantillon(s) sont requis. À cette fin, il affiche la FORM 3 suivante :

Entrer les données suivantes :

Numéro de la station -
Date d'échantillonnage -
Numéro de l'échantillon -

Les étapes suivantes sont nécessaires pour localiser l'échantillon ou les échantillons destinés au tracé :

1. Entrer le NUMÉRO DE STATION de l'échantillon ou des échantillons. Cette zone doit comporter 2 chiffres, suivis de 2 lettres et de 3 chiffres, par ex. 08AA001. Une fois cette zone remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante.

2. Entrer la DATE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone ne permet d'entrer que les 3 premières lettres du mois, suivies de 2 chiffres pour le jour et de 4 chiffres pour l'année. Une fois cette zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

3. Entrer le NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON. Cette zone accepte jusqu'à 12 caractères alphanumériques. Une fois la zone remplie, appuyer sur la touche «TAB».

Seul le NUMÉRO DE LA STATION est obligatoire. Les 2 autres zones sont facultatives, et on n'y accède que si on veut délimiter plus étroitement le nombre d'échantillons pour lesquels il faut une copie-papier.

Pour mettre fin à la FORM 3, il faut appuyer sur la touche «RETOUR» au lieu de la touche «TAB». Si après avoir entré le NUMÉRO DE STATION, on appuie sur la touche «RETOUR», cela signifie que seul le NUMÉRO DE STATION sera utilisé pour déterminer quels échantillons seront imprimés.

L'ordinateur affiche ce qui suit:

Les échantillons sont tracés, SVP attendre

Le système recherche maintenant le fichier principal et trace tout échantillon qui satisfait aux conditions stipulées. Une fois cette opération terminée, il affiche la nouvelle FORM 3.

4. Si davantage d'échantillons doivent être représentés, retourner à l'étape 1.

5. Entrer dans le premier élément de la zone du NUMÉRO DE STATION en tapant :
   M pour revenir au menu principal
   ou S pour sortir du système BWTA.

Note : Le traceur doit être à ON pour obtenir la représentation des échantillons. Si le traceur n'est pas à ON au moment de la demande, le système attendra qu'il soit réglé à ON pour continuer.

7.4.7 Initiation d'un nouveau fichier principal annuel (Taper I dans le menu principal)

Après l'entrée de la lettre I dans le menu principal, l'ordinateur affiche ce qui suit :

Entrer la nouvelle année d'échantillons (par ex. 85 pour 1985)

1. Entrer la nouvelle année d'échantillonnage (par ex. 85) et appuyer sur «RETOUR».

Si un FICHIER PRINCIPAL existe déjà pour l'année d'échantillons introduite, l'ordinateur affichera ce qui suit :

Le fichier principal annuel existe déjà, SVP retaper l'entrée

2. À ce stade-ci, l'ordinateur est retourné à l'étape 1.

3. En supposant que le fichier principal n'existe pas, le programme créera un nouveau fichier principal blanc et retournera au menu principal.

Note : Cette option ne doit être utilisée que pour entrer les premiers échantillons d'une NOUVELLE année de données.

7.4.8 Impression de données du fichier principal (Taper L dans le menu principal)

Pour récupérer un échantillon ou des échantillons sélectionnés du fichier principal, il faut dire à l'ordinateur quel ou quels échantillons sont demandés. À cette fin, la FORM 3 suivante est affichée :

Entrer les données suivantes :

Numéro de la station -
Date d'échantillonnage -
Numéro de l'échantillon -

Les étapes suivantes sont nécessaires pour localiser l'échantillon ou les échantillons qu'on veut récupérer :

1. Entrer le NUMÉRO DE STATION de l'échantillon ou des échantillons. Cette zone doit comporter 2 chiffres, suivis de 2 lettres et de 3 chiffres, par ex. 08AA001. Lorsque cette zone est remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante.

2. Entrer la DATE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone n'acceptera que les 3 premières lettres du mois, suivies de 2 chiffres pour le jour, et de 4 chiffres pour l'année. Lorsque vous avez terminé, appuyez sur la touche «TAB».

3. Entrer le numéro de l'échantillon. Cette zone permet jusqu'à 12 caractères alphanumériques. Lorsque cette zone est remplie, appuyer sur la touche «TAB».

Seul le numéro de la station est obligatoire. Les 2 autres zones sont facultatives, et on n'y accède que si on veut délimiter plus étroitement le nombre d'échantillons qui requièrent des copies-papier.

Pour terminer la FORM 3, on utilise la touche «RETOUR» au lieu de la touche «TAB». Si, après avoir entré le numéro de station, on appuie sur la touche «RETOUR», cela signifie que seul le numéro de station servira à sélectionner les échantillons aux fins d'impression.

L'ordinateur affichera ce qui suit :

Un ou des échantillons sont imprimés, SVP attendre

Le système recherche maintenant dans le fichier principal et imprime tout échantillon qui répond aux conditions spécifiées. Une fois cette opération terminée, l'ordinateur affiche une nouvelle FORM 3.

4. S'il faut imprimer davantage d'échantillons, retourner à l'étape 1.

5. Taper dans le premier élément de la zone du numéro de station:
M pour revenir au menu principal
ou S pour sortir du système BWTA.

La page suivante montre une liste de données imprimées.

Tableau 6. Analyse granulométrique à l'aide du tube d'extraction de fond

Relevés hydrologiques du Canada
9 mai 1984

CARACTÉRISATION DE L'ÉCHANTILLON

Nom de la station : Rivière Assiniboine près de Holland
Numéro de la station : 05MH005
Verticale d'échantillonnage : 73
Date d'échantillonnage : 17 Avril 1980
Type d'échantillonnage : DI
Numéro de l'échantillon : A-9004 AB

SÉDIMENTS EN SUSPENSION		MATIÈRES DISSOUTES	
Numéro du tube :	8	Numéro du récipient :	86X
Étalonnage :	5.17 mL/cm	Volume :	100 mL
Volume rejeté :	300 mL	Poids brut :	53.7236 g
Hauteur de la colonne :	57 cm	Poids à vide :	53.6736 g
Moins $CuSO_4$:	2 mL	Poids net :	0.0500 g
Température :	22 Celsius	Concentration :	500 mg/L
Volume net :	692.7 mL	Correction :	0.00147 g/cm

Temps écoulé	Hauteur	Tirage	Numéro du récipient	Poids brut	Poids à vide	Poids des sédiments	Pourcentage en suspension	Temps requis pour la décantation
0.0	100.0						100.0	0.0
0.5	90.0	10.0	71	40.3072	40.2250	0.0822	94.6	0.6
1.0	80.0	10.0	72	53.1273	53.0571	0.0702	91.1	1.2
2.0	69.9	10.1	73	51.4605	51.3876	0.0729	86.0	2.9
5.0	60.0	9.9	74	41.8598	41.7758	0.0840	74.7	8.3
13.0	50.0	10.0	75	53.3944	53.3042	0.0902	56.4	26.0
32.0	40.0	10.0	76	53.1519	53.0814	0.0705	39.8	80.0
80.0	29.7	10.3	77	42.4920	42.4424	0.0496	28.0	269.4
160.0	19.9	9.8	78	46.3130	46.2803	0.0327	21.6	804.0
450.0	10.1	9.8	79	51.6058	51.5780	0.0278	13.4	4455.4
451.0	0.0	10.1	80	44.5007	44.4797	0.0210		

Granulométrie en mm	Pourcentage plus fin que
1.000	100.0
0.500	99.9
0.250	99.2
0.125	95.5
0.062	92.1
0.044	86.8
0.031	80.7
0.022	64.6
0.016	59.2
0.011	40.6
0.008	33.3
0.006	29.2
0.004	25.3
0.003	20.2
0.002	16.4

Sable
Limon
Argile

D16: ***** mm
D50: 0.013 mm
D84: 0.038 mm

Poids net total : 0.4538 g
Concentration : 655 mg/L

7.4.9 Obtention d'une liste résumée des échantillons du fichier principal (Entrer 0 dans le menu principal)

Pour obtenir une copie imprimée d'une liste d'échantillons choisis du fichier principal, il faut dire à l'ordinateur lequel ou lesquels des échantillons sont demandés. À cette fin, la FORM 3 suivante est affichée:

Entrer les données suivantes :

Numéro de la station -
Date d'échantillonnage -
Numéro de l'échantillon -

Les étapes suivantes sont nécessaires pour localiser le ou les échantillons dont on veut faire imprimer la liste :

1. Entrer le NUMÉRO DE LA STATION de l'échantillon ou des échantillons. Cette zone doit comporter 2 chiffres, suivis de 2 lettres et de 3 chiffres, par ex. 08AA001. Lorsque cette zone est remplie, l'ordinateur passe automatiquement à la zone suivante.

2. Entrer la DATE D'ÉCHANTILLONNAGE. Cette zone n'accepte que les 3 premières lettres du mois, suivies de 3 chiffres pour le jour et de 4 chiffres pour l'année. Une fois que cette zone est remplie, appuyer sur la touche «TAB».

3. Entrer le NUMÉRO DE L'ÉCHANTILLON. Cette zone accepte jusqu'à 12 caractères alphanumériques. Une fois que cette zone est remplie, appuyer sur la touche «TAB».

Seul le numéro de station est obligatoire. Les 2 autres zones sont facultatives, et on n'y accède que si on veut délimiter plus étroitement le nombre d'échantillons à imprimer.

Pour terminer la FORM 3, on peut utiliser la touche «RETOUR» au lieu de la touche «TAB». Si, après avoir entré le numéro de la station, on appuie sur la touche «RETOUR», cela signifie que seul le numéro de station servira à déterminer quels échantillons seront imprimés.

L'ordinateur affichera ce qui suit :

> L'échantillon ou les échantillons sont imprimés, SVP attendre

L'ordinateur affichera encore ce qui suit :

> Entrer T pour terminal, P pour impression

Si vous tapez P, appuyez sur la touche «RETOUR». L'ordinateur fournit automatiquement une liste de tous les échantillons du fichier principal. Cette liste donne le numéro de la station, la date d'échantillonnage et le numéro de l'échantillon pour chaque échantillon. Lorsque l'ordinateur a terminé d'imprimer cette liste, il affiche automatiquement le menu principal.

Si vous entrez T et appuyez sur la touche «RETOUR», l'ordinateur affichera une liste des échantillons du fichier principal, et répondra ce qui suit :

Appuyer sur la touche «RETOUR» pour continuer

Ce message apparaîtra à la fin de chaque page sur l'écran et vous aurez donc le temps de lire chaque page. Une fois que tous les échantillons auront apparu sur la liste, le menu principal apparaîtra automatiquement.

Voici un exemple de liste imprimée :

Relevés hydrologiques du Canada
9 mai 1984, page 1 Sommaire des échantillons du fichier principal selon le numéro de station

Numéro d'ordre	Numéro de station	Date d'échantillonnage	Numéro de l'échantillon
1	05GG001	11 juin 1980	5685 A
2	05GG001	11 juin 1980	5690 A
3	05GG001	11 juin 1980	5694 A
4	05MH005	17 avril 1980	A-9004AB

7.4.10 Rappel du fichier principal pour une année donnée (Taper R dans le menu principal)

Après l'entrée de la lettre R dans le menu principal pour la recherche du fichier principal d'une année donnée, l'ordinateur affiche ce qui suit :

«Entrer l'année du fichier principal (par ex. 85 pour 1985)»

Entrer l'année du fichier principal recherchée (par ex. 85) et appuyer sur «RETOUR».

Si le fichier principal n'existe pas pour l'année demandée, l'ordinateur affiche le message suivant :

«Il n'existe pas de fichier principal pour cette année, SVP entrer une autre année»

À ce stade-ci, vous devez entrer une nouvelle année, c'est-à-dire 2 autres chiffres.

Si le fichier principal existe pour cette année, il devient accessible et l'ordinateur répond en affichant le menu principal.

8. MÉTHODES POUR L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE D'ÉCHANTILLONS DE MATÉRIAUX DE CHARRIAGE

Les trois méthodes les plus courantes, utilisées pour l'analyse granulométrique des échantillons de matériaux de charriage font appel au tamisage humide, au tamisage à sec et à l'hydromètre. La présente section décrit en détail les méthodes et l'équipement d'analyse correspondant aux trois méthodes.

8.1 Analyse des matériaux de charriage

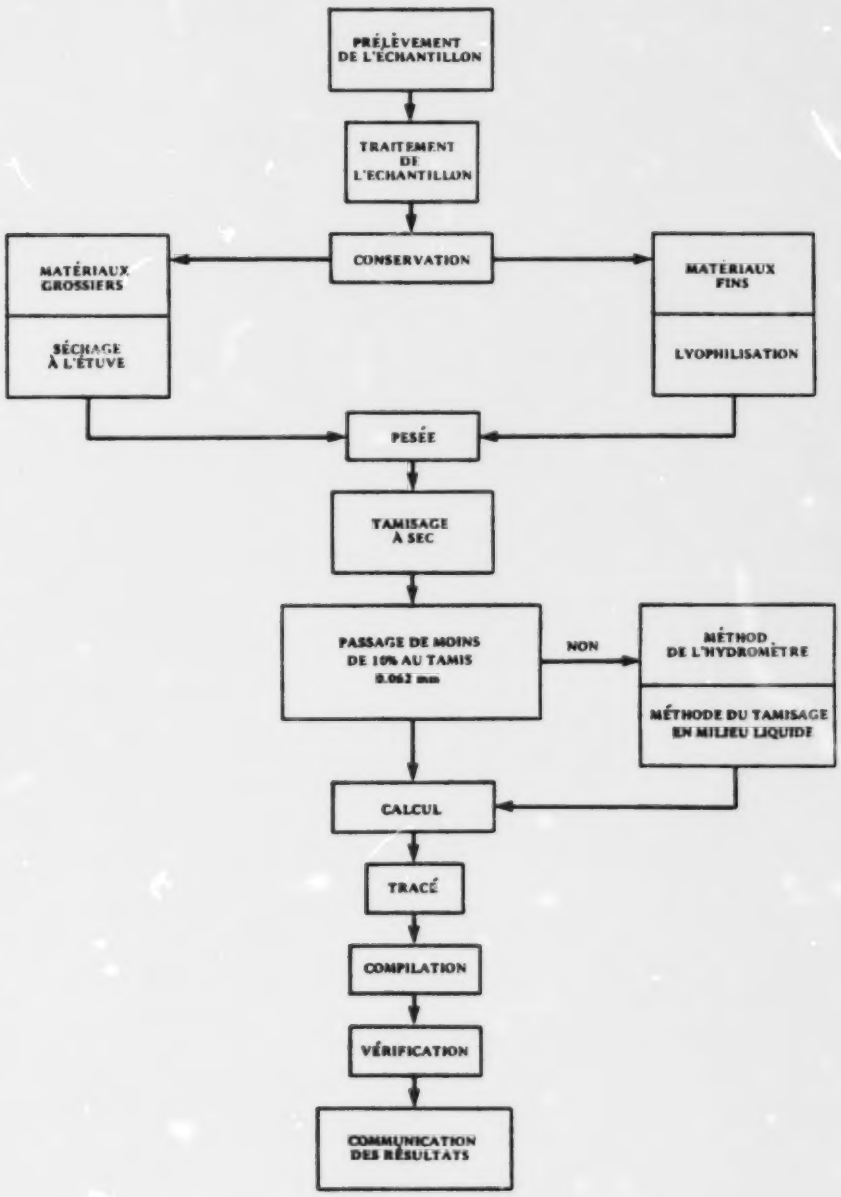


Figure 12. Diagramme d'analyse des matériaux de charriage.

8.2 Analyse par hydromètre

La méthode de l'hydromètre sert à effectuer l'analyse granulométrique d'échantillons de limon-argile. En raison de la simplicité de l'opération et du faible coût de l'équipement, la méthode est très largement utilisée dans l'étude des sols. Cette analyse est effectuée avec des matériaux qui passent au tamis numéro 10 (2.000 mm), et seulement dans les cas ou plus de 10 % de l'échantillon passe au tamis numéro 230 (0.063 mm). À cette fin, l'échantillon de matériaux de charriage doit être séché à l'étuve à 105 °C, généralement pendant la nuit, broyé à l'aide d'un mortier et d'un pilon ou lyophilisé (Dolan et Cashman, 1978), puis passé au tamis de 2.000 mm. Le principe de l'opération suppose une corrélation entre la diminution progressive de la densité, ou effet de flottation, qui se produit à n'importe quelle hauteur dans une suspension, et le diamètre de décantation des particules. On suppose que l'écart de densité entre la suspension et le liquide pur, mesuré à l'aide d'un hydromètre, est proportionnel à la concentration.

Lorsqu'on considère la loi de Stokes appliquée à l'analyse hydrométrique, on s'aperçoit que le paramètre de décantation n'est pas constant pendant celle-ci, en effet la profondeur d'une immersion de l'ampoule de l'hydromètre varie à mesure que les particules se décantent et que l'hydromètre s'enfonce dans la suspension. En prenant comme profondeur de décantation la distance de la surface de la suspension au centre de l'ampoule de l'hydromètre, il est possible d'établir une relation entre les valeurs mesurées de profondeur de décantation et les lectures sur la tige de l'hydromètre, ce qui rend le paramètre de décantation fonction des lectures de la tige.

Les résultats de l'hydromètre, dans le cas de la méthode du tube d'extraction de fond, deviennent plus précis à mesure que la taille des particules diminue. Par conséquent, les meilleurs résultats sont obtenus lorsque la fraction de sable est séparée et analysée par une autre méthode. De plus, par suite de la forte concentration de sédiments dans la suspension, il est nécessaire d'employer un agent dispersant pour empêcher la floculation des particules.

Pour déterminer s'il faut utiliser l'hydromètre dans un cas donné, les précautions suivantes doivent être prises (Means et Parcher, 1963) :

1. L'hydromètre doit être retiré de la suspension entre les lectures, et essuyé à l'aide d'un linge sec et propre. Des grains de sol se déposent sur l'ampoule de l'hydromètre, ce qui rend leur décantation trop basse si on les laisse dans la suspension entre les lectures.

2. L'hydromètre doit être introduit très lentement dans la suspension et en être retiré tout aussi lentement, pour éviter toute perturbation excessive. L'introduction et l'extraction de l'hydromètre doivent durer chacune au moins 10 à 15 secondes.

3. Le contenant cylindrique renfermant la suspension doit avoir un diamètre assez large, comparativement au diamètre de l'ampoule de l'hydromètre, de façon à empêcher toute perturbation excessive lors de l'introduction et de la sortie de l'hydromètre.

4. Il faut veiller à éviter la formation de courants de convection dans la suspension; ces courants se forment lorsque le contenant est exposé à des courants d'air ou à la lumière solaire, un côté étant plus chaud que l'autre dans ce dernier cas.

5. La température ne doit pas varier plus que de quelques degrés pendant l'essai, car ces variations risquent de modifier la viscosité de l'eau et, par conséquent, la vitesse de décantation.

6. La tige de l'hydromètre doit être exempte de matériaux qui risquent d'empêcher la formation d'un ménisque entier. Les hydromètres sont étalonnés de façon à donner une lecture correcte lorsque le ménisque est entier.

8.2.1 Équipement pour l'analyse à l'hydromètre

1. Hydromètre normalisé pour l'analyse granulométrique des sols, ASTM 151H, pour les sols dont la densité peut varier de 0.995 à 1.038, avec des divisions de 0.001, l'hydromètre étant étalonné à 20 °C.

2. Mélangeur pour dispersion de sol, ASTM D-422, comportant un agitateur et une cuvette spéciale plaquée en chrome pour la dispersion, avec 4 séries de tiges transversales intérieures, fixées à demeure sur la paroi intérieure. Le fond est arrondi pour éliminer tout espace vide où le sol pourrait s'accumuler.

3. Éprouvette graduée, un tube en verre étalonné d'une capacité de 1000 mL avec une tolérance de $\pm$ 5.0 mL.

4. Bain thermostatique, permettant de maintenir la suspension analysée à une température de 20 °C $\pm$ 2 °C, et comportant un système d'agitation magnétique.

5. Thermomètre, gradué jusqu'à 100 °C avec des divisions de 1 °C.

6. Bécher, de 250 mL, comportant un bec et une graduation donnant une précision de $\pm$ 5 %.

7. Appareil de chronométrage, soit une montre ou une horloge avec aiguille supplémentaire pouvant indiquer un temps écoulé total de 1200 min.

8. Balance, d'une capacité de pesée de 0 à 2000 g et d'une précision de 0.01 g pour les matériaux passant au tamis numéro 10 (2.000 mm), et pour la pesée des matériaux retenus sur le tamis numéro 10.

9. Agitateur en laiton avec, fixé à l'une des extrémités, un disque perforé de 50 mm de diamètre, servant à brasser l'échantillon en suspension dans l'éprouvette graduée.

8.3 Agent dispersant et correction

Il faut ajouter un agent dispersant à la fraction de l'échantillon à analyser. L'addition de Calgon, agent dispersant, permettra d'augmenter la

densité du milieu porteur de la suspension. Étant donné que les calculs du «pourcentage plus fin que» sont faits avec l'eau comme milieu de suspension, il faut faire une correction. Pour effectuer cette dernière, on ajoute dans une éprouvette graduée de 100 mL remplie d'eau distillée la quantité d'agent dispersant qui sera utilisée pour un essai donné. Introduire l'hydromètre et procéder à la lecture. La différence entre cette lecture et celle obtenue avec l'eau distillée pure représente la correction.

Note : Toute l'eau utilisée pendant l'analyse doit être distillée et amenée à la température prévue pendant l'essai à l'hydromètre. Par exemple, si l'éprouvette renfermant l'échantillon doit être placée dans le bain d'eau thermostatique, l'eau distillée de l'essai devra être amenée à la température de ce bain, généralement 20 °C, ou, si l'éprouvette est utilisée dans une pièce comportant un thermostat, l'eau distillée prévue pour l'essai devra avoir la température de cette pièce. De petites variations de température n'entraînent pas des écarts significatifs à l'échelle expérimentale, et ne nécessitent pas de corrections.

8.4 Étalonnage de l'hydromètre

Étant donné que l'hydromètre n'est maintenu immergé que pendant la courte période nécessaire pour effectuer la lecture, la profondeur à partir de la surface de la suspension au centre du volume de l'ampoule, indiquée par la lecture sur l'hydromètre, doit faire l'objet d'une correction. Lorsque l'hydromètre est immergé, il entraîne un déplacement par rapport à la surface de la partie de la suspension où flotte l'ampoule. Ce déplacement relatif est directement proportionnel au volume de l'ampoule, et inversement proportionnnel à la surface de l'éprouvette. La suspension au niveau du centre du volume, qui détermine la lecture à l'hydromètre, est plus proche de la surface pendant la décantation. Le calcul de la granulométrie doit tenir compte de cette profondeur réelle pendant la décantation. Elle est égale à la distance entre la surface de la suspension et le centre du volume de l'ampoule de l'hydromètre, valeur égale à la lecture à l'hydromètre, moins la correction due au déplacement relatif causé par l'introduction de l'hydromètre.

L'étalonnage d'un hydromètre revient à déterminer cette distance effective ou réelle en fonction de la lecture à l'hydromètre. La méthode d'étalonnage d'un hydromètre (figure 13) comporte les étapes suivantes :

1. Détermination du volume de l'ampoule de l'hydromètre, V_H, selon la technique a) ou b) :

   a) Mesure du volume d'eau déplacé. Dans cette méthode, remplir une éprouvette graduée de 1000 mL avec de l'eau distillée jusqu'à environ 700 mL. Noter le niveau d'eau. Introduire l'hydromètre dans le liquide, et noter la valeur observée. La différence entre ces deux lectures sera égale au volume de l'ampoule de l'hydromètre plus le volume de la partie de la tige qui est immergée. L'erreur due à l'inclusion de la partie de la tige est pratiquement si faible qu'elle peut être négligée.

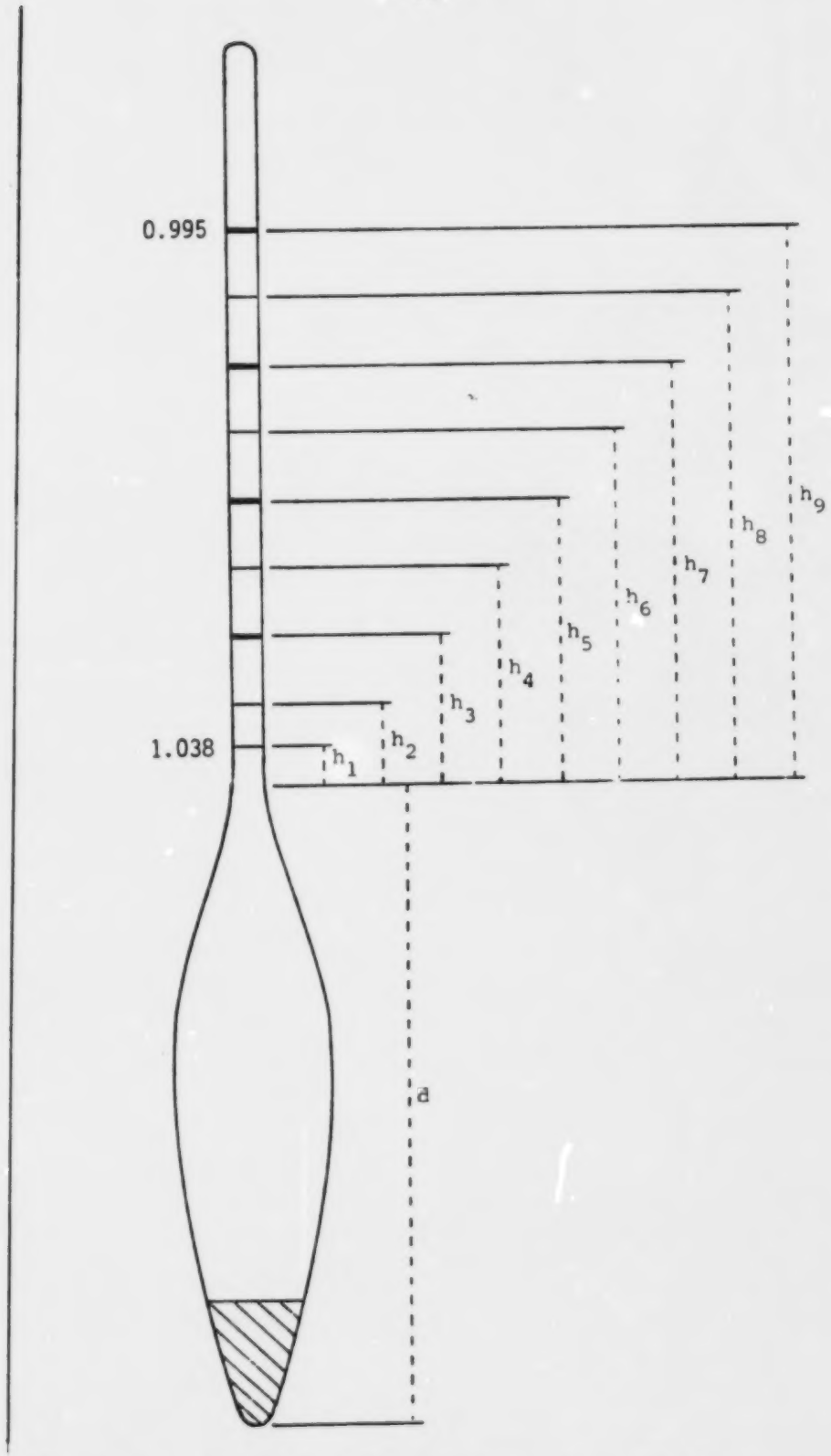


Figure 13. Analyse, à l'aide de l'hydromètre, des matériaux de charriage.

Dans cette méthode, il faut utiliser 5 éprouvettes et effectuer 2 lectures pour chacune d'entre elles. La moyenne des 10 lectures donne le volume de l'ampoule de l'hydromètre, en mL.

b) Mesure du volume de l'hydromètre d'après le poids. Peser l'hydromètre à 0.01 g près. Étant donné que la densité d'un hydromètre est à peu près égale à l'unité, le poids en grammes peut être consigné en volume, c'est-à-dire en millilitres, mL. Ce volume représente évidemment le volume de l'ampoule de l'hydromètre plus celui de la tige.

2. Déterminer la surface A de l'éprouvette dans laquelle l'hydromètre doit être utilisé, en mesurant la distance entre 2 graduations (par ex. 400 et 900). La surface A est égale au volume compris entre 2 graduations, divisé par la distance mesurée. Il faut utiliser les résultats moyens de 3 ou 4 mesures de différentes séries de graduations.

3. Mesurer et noter la distance d du col jusqu'à l'extrémité de l'ampoule.

4. Mesurer et noter la distance h du col de l'ampoule jusqu'à chacune des principales graduations sur la tige. La distance h correspond à une lecture R_H sur l'hydromètre.

5. Calculer la distance réelle H correspondant à chacune des principales graduations, R_H, à l'aide de la formule suivante :

$$H = h_1 + \tfrac{1}{2} \left(d - \frac{V_M}{A}\right)$$

6. Tracer la courbe représentant la relation entre H et R_H, la lecture à l'hydromètre.

7. Grâce à une table nomographique (section 8.7), représenter l'échelle R_H à droite de l'échelle H, en utilisant les valeurs obtenus à partir du tracé de l'étape 6.

8.5 Correction pour le ménisque

D'après le National Bureau of Standards des États-Unis, la lecture à l'hydromètre doit être faite au point où il y a intersection entre la surface du liquide et la tige graduée -- et non au sommet du ménisque. Les suspensions de sol ne sont, cependant, pas assez transparentes pour permettre une lecture à la surface et, par conséquent, la lecture correcte R_H doit être faite au niveau de l'anneau supérieur du ménisque. La correction pour le ménisque, C_m, qui doit être ajoutée à la lecture à l'hydromètre, pour obtenir R_H, est une constante pour chaque hydromètre individuel.

Pour déterminer la correction relative au ménisque, introduire un hydromètre propre et sec dans une éprouvette graduée de 1000 mL remplie d'eau distillée. Se placer avec les yeux légèrement en dessous de la surface du liquide, puis lever lentement les yeux jusqu'à ce que la surface, aperçue comme une ellipse, devienne une ligne droite. Le point où cette ligne coupe l'échelle de l'hydromètre peut ainsi être déterminé et doit être pris comme lecture à l'hydromètre. La différence entre cette lecture et celle où le ménisque rencontre la tige de l'hydromètre représente la correction pour le ménisque.

Il est très important d'enlever toute pellicule étrangère, comme les empreintes de doigts graisseuses, de la tige de l'hydromètre. Cela peut être fait en nettoyant de temps en temps l'hydromètre à l'aide de savon et d'eau ou d'une solution d'alcool. Si l'hydromètre n'est pas propre, seul un ménisque partiel se formera, et l'hydromètre flottera à un niveau plus élevé que dans le cas où il y aurait eu présence d'un ménisque entier. Étant donné que les hydromètres sont étalonnés par le fabricant pour indiquer 0 en présence d'un ménisque entier, dans l'eau distillée à 20 °C, il est indispensable de maintenir les hydromètres propres.

8.6 Analyse à l'hydromètre

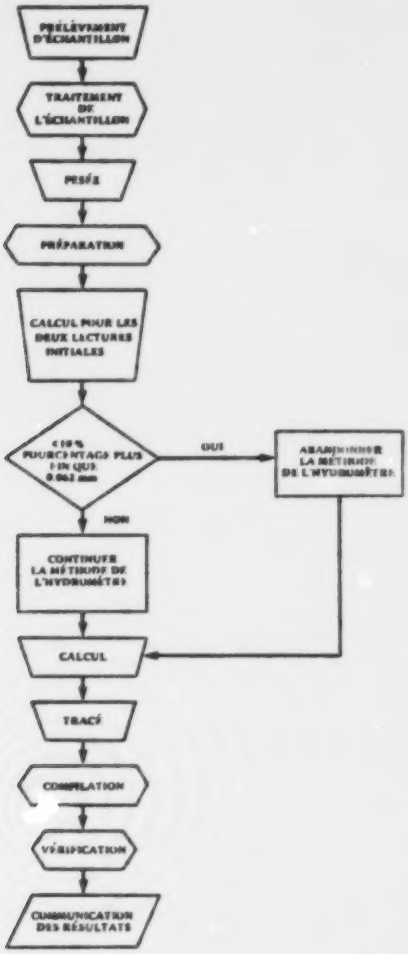


Figure 14. Diagramme de l'analyse à l'hydromètre.

8.6.1 Méthode de l'analyse à l'hydromètre

Les méthodes de laboratoire permettant d'effectuer l'analyse granulométrique de matériaux plus fins que 0.063 mm comportent les étapes suivantes :

1. Séparer et peser la fraction de matériaux passant au tamis de 2.000 mm et destinée à l'analyse.
   - 60 g sont nécessaires pour le sable ou le limon
   - 40 g sont nécessaires pour l'argile

2. Introduire les matériaux dans un bécher et ajouter 1 g de Calgon, agent dispersant. Mélanger intimement avec environ 200 mL d'eau distillée pour séparer les particules agglutinées.

3. Transvaser l'échantillon dans une cuvette de dispersion en envoyant un jet d'eau distillée pour bien entraîner tous les matériaux hors du bécher. Ajouter de l'eau distillée jusqu'à ce que la cuvette soit à peu près à moitié remplie, puis brasser la suspension pendant 1 min à l'aide d'un mélangeur pour dispersion de sol.

4. Transvaser l'échantillon mélangé dans une éprouvette graduée, toujours avec un jet d'eau distillée pour bien entraîner tout l'échantillon hors de la cuvette. Ajouter suffisamment d'eau distillée pour compléter le mélange dans l'éprouvette à 1000 mL.

5. Placer l'éprouvette dans un bain thermostatique et la laisser jusqu'à ce que la température de l'échantillon dans l'éprouvette et de l'eau dans le bain se soit stabilisée à 20.0 °C. Le bain thermostatique permet d'éviter la lecture périodique de la température pendant l'analyse, mais il faut néammoins noter celle-ci au début de l'analyse, la vérifier à mi-parcours, et enfin une dernière fois au moment de la dernière lecture à l'hydromètre.

6. Introduire l'agitateur perforé en laiton dans la suspension; le descendre et le monter pendant 1 min de façon à bien mélanger le contenu (ATTENTION : maintenir fermement l'éprouvette en place avec la main libre pendant que l'on soulève la tige). Déplacer délicatement l'agitateur près de la partie supérieure de la suspension pendant la montée et la descente, de façon à éviter tout déversement accidentel de mélange d'eau et de sédiments. Soulever énergiquement l'agitateur à partir du fond de façon à ramener en suspension toutes les particules qui auraient pu se loger à la base de l'éprouvette. Entraîner tout sédiment demeurant dans le coin à la base en inclinant légèrement l'agitateur et en le faisant tourner de façon à faire pivoter le disque. Terminer l'opération avec deux ou trois mouvements lents et légers, et retirer l'agitateur en le tapotant légèrement pour faire tomber les gouttes qui y adhèrent.

7. Immédiatement après l'arrêt du brassage et la sortie de l'agitateur de l'éprouvette, noter l'heure et mettre en marche le chronomètre aussitôt que le brassage est terminé.

   Note : Si la surface de la suspension est recouverte de mousse, ajouter une goutte d'alcool amylique ou butylique et rebrasser l'échantillon.

8. Immerger lentement l'hydromètre dans le liquide en évitant de toucher aux parois latérales de l'éprouvette, un peu plus bas que le niveau de flottaison, puis le laisser flotter librement. Après un temps écoulé de 30 s, effectuer une lecture à l'échelle de l'hydromètre au niveau du bord supérieur du ménisque sur la tige de l'hydromètre. Laisser l'hydromètre en place et faire une seconde lecture après 1 min de temps écoulé, et une troisième à 2 min. Après la lecture à 2 min et toute lecture ultérieure, retirer délicatement l'hydromètre avec un léger mouvement de rotation. Immerger l'hydromètre dans une éprouvette d'eau distillée, puis le retirer et l'essuyer à sec à l'aide d'un linge doux.

   Sans brasser le mélange de sédiments entre les lectures, immerger délicatement l'hydromètre dans la suspension à peu près 30 s avant chaque lecture. Les intervalles de temps écoulés entre les lectures de l'hydromètre sont de 30 s, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 180 et 1200 min. Ces intervalles correspondent au temps total écoulé entre le

début de la décantation et le moment de la lecture sur l'hydromètre. Les lectures de l'hydromètre doivent se poursuivre jusqu'à obtention d'un diamètre de 0.002 mm ou d'un pourcentage de 10 % «plus fin que». La fréquence des lectures est arbitraire, mais on peut dire qu'une progression géométrique des intervalles de temps permet d'obtenir un étalement satisfaisant des données. La plage de 20 h ou 1200 min de lectures peut être remplacée par une autre de 8 h.

9. Noter les lectures de l'hydromètre (figure 17).

10. Calculer W, sous forme de pourcentage en poids correspondant à tous les grains plus petits que la taille D, en utilisant la table nomographique (figure 16), ainsi que les valeurs observées et la formule suivante :

$$W\% = \frac{100}{W_S} \times \frac{S_s}{S_s - 1} \times (R_H + m_T - c_d)$$

La quantité $\frac{100}{W_S} \times \frac{S_s}{S_s - 1}$ est une constante pour chaque analyse prise individuellement.

c_d est la correction pour l'augmentation de densité de la phase liquide de la suspension, attribuable à l'addition d'agent dispersant. Cette correction est déterminée à partir de l'écart entre les lectures de l'hydromètre introduit d'abord dans de l'eau distillée, puis dans la suspension renfermant l'agent dispersant.

c_m est la correction pour le ménisque qui est une constante pour chaque hydromètre et est fonction du diamètre de la tige de l'hydromètre.

m_T est la correction pour la variation de température (figure 15). Si on utilise un bain thermostatique, cette valeur est nulle.

D est la valeur granulométrique déterminée grâce à la table nomographique utilisée pour résoudre l'équation de Stokes.

R^1_H est la lecture de l'hydromètre, correspondant à l'anneau supérieur du ménisque.

R_H est la lecture corrigée de l'hydromètre après la correction pour le ménisque (c_m).

S_s est la densité des particules de sol, que l'on suppose égale à 2.65.

W_s est le poids d'échantillon sec à utiliser pour l'analyse.

W% est le pourcentage en poids renfermant tous les grains plus petits que la taille D.

NOTE: Hydromètres étalonnés pour la densité à la température T

W% = Fraction renfermant tous les grains plus petits que la taille correspondante, en % de l'échantillon total (W_s)

À calculer à partir de l'équation suivante :

$$W\% = \frac{S_s}{S_s - 1} \frac{100}{W_s} (R_M + m_T - C_d)$$

S_s = densité du sol
R_M = $(r_M - 1)\ 10^3$
r_M = lecture de la densité sur l'hydromètre
C_d = correction pour la densité
m_T = correction pour la température

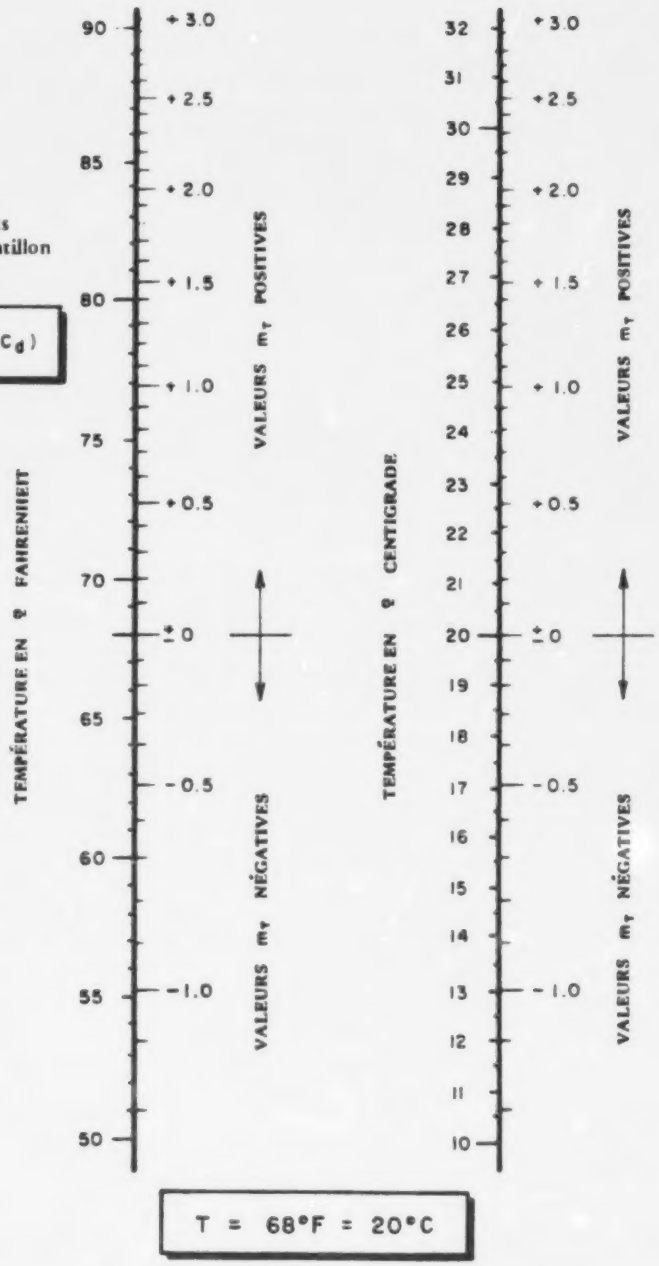


Figure 15. Table de correction pour la température.

8.7 Utilisation d'une table nomographique

À chaque hydromètre correspond une table nomographique particulière (figure 16) pour la résolution de l'équation de Stokes, car l'échelle R_H est fonction des dimensions de l'instrument.

Il faut déterminer la valeur de «B x 10^3»; pour cela, on trace une droite passant par le point représentant la valeur 2.65 sur l'échelle de densité et le point représentant 20 °C, température constante du bain, droite qui coupe l'échelle située complètement à gauche en 11.3, valeur de «B x 10^3».

En traçant une autre droite qui passe par le point correspondant à la lecture de l'hydromètre sur l'échelle «R_H» et le point «t» sur l'échelle du temps écoulé, on obtient la valeur de la vitesse sur l'échelle «v». Une droite passant par le point obtenu sur l'échelle «v» et le point déterminé sur l'échelle «B x 10^3» coupe l'échelle «D» en un point qui représente le diamètre des grains en millimètres. Une valeur D est ainsi déterminée pour chaque valeur R_H.

Comme on l'a mentionné plus tôt, l'analyse à l'hydromètre est complète pour les matériaux passant au tamis numéro 10 (2.000 mm), qui constituent «l'échantillon original de base». Il est donc nécessaire de calculer le «pour cent d'échantillon original de base» grâce à la valeur W% et à celle calculée pour le «% plus fin que l'échantillon original de base», dans le cas des matériaux passant au tamis de 2.000 mm, dans l'analyse au tamis.

Les valeurs «% plus fin que» sont représentées en utilisant comme base le diamètre en millimètres, et on peut ainsi obtenir une courbe passant par ces points (figure 18).

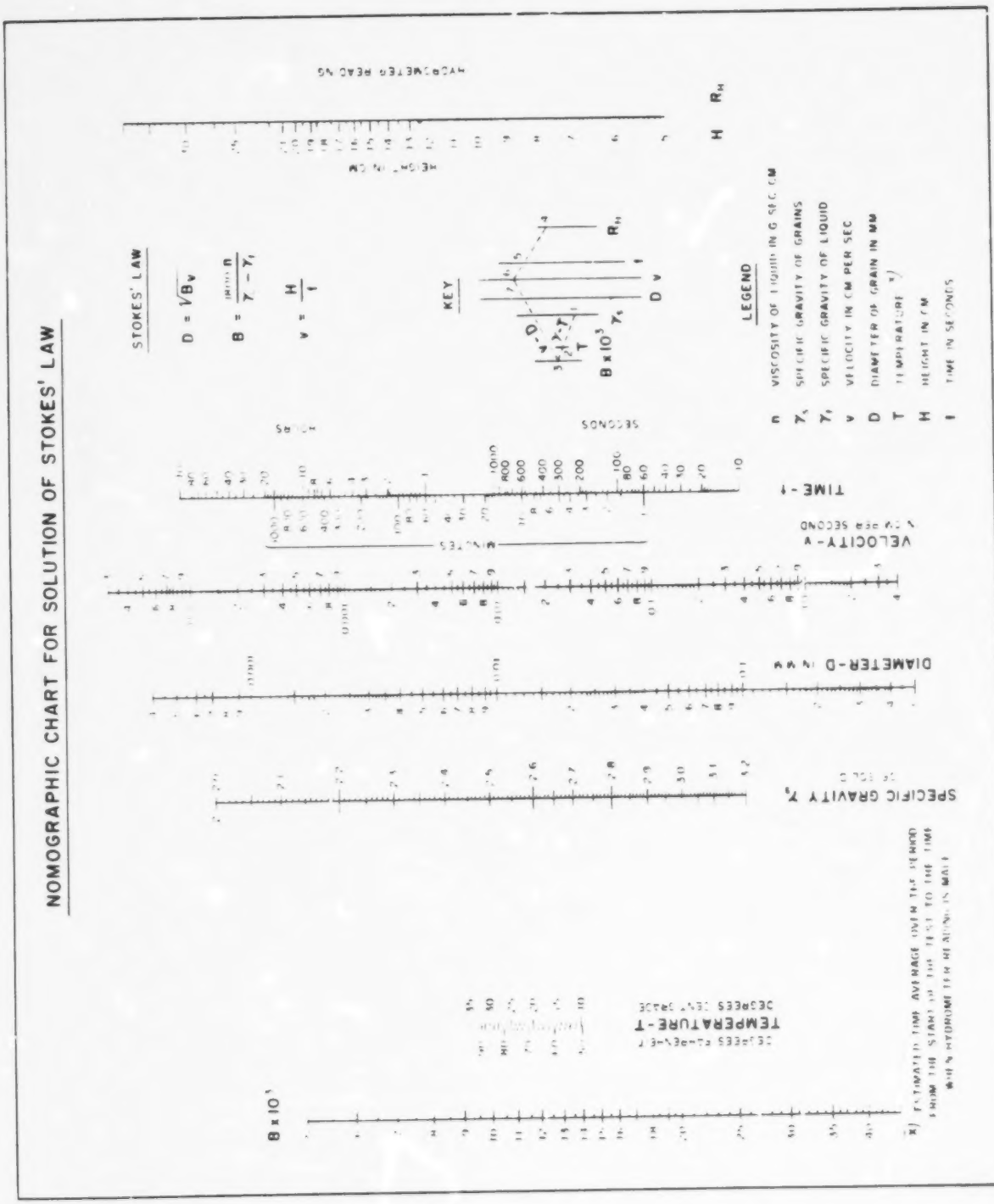


Figure 16. Table nomographique pour la résolution de l'équation de stokes.

8.8 Relevé des résultats de l'analyse à l'hydromètre

1. Noter l'information pertinente, à savoir : le nom de la station, la verticale, le numéro de l'échantillon, le nom de l'échantillonneur et la date de l'analyse.

   L'analyse à l'hydromètre et l'analyse au tamis après l'analyse à l'hydromètre, constituent deux parties (figure 17). L'analyse à l'hydromètre sera expliquée en premier.

2. Inscrire la date d'échantillonnage dans la colonne «Date», soit 9 août/83 ou 30 nov./83.

3. Inscrire la «Température °C», soit la lecture de la température du bain thermostatique. La température doit être lue au début de l'analyse, et vérifiée à mi-parcours de cette analyse et encore une fois à la fin de la dernière lecture sur l'hydromètre.

4. Inscrire le «Temps» correspondant à chaque lecture de l'hydromètre, en utilisant le système de 24 h, par exemple 0910 ou 1304.

5. Inscrire le «Temps écoulé» en minutes, pour chaque lecture de l'hydromètre, par ex. 0.0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 180, 1200.

6. Inscrire chaque lecture appropriée d'hydromètre dans la colonne «R'_H».

7. La valeur R_H doit être calculée à l'aide de l'équation suivante, puis inscrite dans la colonne appropriée :

   $$R_H = R'_H + c_m$$

   où

   R_H est la lecture corrigée de l'hydromètre
   R'_H est la lecture de l'hydromètre au niveau de l'anneau supérieur du ménisque
   c_m est la correction pour le ménisque

8. On obtient le diamètre (D) en (mm) grâce à la table nomographique. Comme il a été précisé à la section 8.7, chaque hydromètre doit avoir son propre nomographe.

   a) Tracer une droite passant par la valeur 2.65 sur l'échelle de densité et le point représentant 20 °C sur l'échelle de température, droite qui coupe en 11.3 l'échelle «B x 10^3». Cette valeur sera constante tant qu'on utilisera un bain thermostatique à une température de 20 °C.

   b) Tracer une droite passant par la hauteur appropriée sur l'échelle de l'hydromètre, «R_H», et par le point représentant le temps écoulé sur l'échelle «Temps, t», droite qui coupe l'échelle «Vitesse, v».

c) Tracer une droite passant par le point déterminé sur l'échelle «Vitesse» et le point approprié sur l'échelle «Diamètre, D», droite qui coupe l'échelle «B x 10^3» en 11.3. La valeur sur cette ligne est exprimée en mm, et on l'inscrit dans la colonne «D».

9. La valeur pour la prochaine colonne est calculée et est le résultat de $R_H + m_T - c_d$.

où

R_H est la lecture corrigée de l'hydromètre
m_T est la correction pour la température
c_d est la correction pour l'addition d'agent dispersant

10. La valeur de la colonne «W%» est calculée en multipliant la valeur obtenue à l'étape 9 par une constante. La constante calculée est le résultat de $\frac{100}{W_S} \times \frac{S_s}{S_{s-1}}$

où

100 représente 100 % de l'échantillon
W_s est le poids d'échantillon utilisé, généralement 40 g ou 60 g
S_s est la densité des matières solides, soit 2.65

Par exemple, si on utilise un échantillon de 40 g, la constante est égale à:

$$\frac{100}{40} \times \frac{2.65}{1.65} = 4.015$$

et, pour un échantillon de 60 g, cette constante serait de

$$\frac{100}{60} \times \frac{2.65}{1.65} = 2.677$$

11. Le «% d'échantillon original de base» est déterminé à partir du pourcentage d'échantillon de base utilisé lors de l'analyse au tamis, sous la forme de pourcentage de l'échantillon qui passe au tamis n° 10, c'est-à-dire à 2.000 mm. Le % de l'échantillon passant au tamis n° 10 est ensuite multiplié par le «W%» et inscrit dans la colonne «% d'échantillon original de base».

12. Les valeurs «% d'échantillon original de base» sont portées sur le papier graphique R-286 (figure 18), avec le «D mm» comme ligne de base, et on fait passer une courbe par les points obtenus.

Stream PADDLE RIVER AT BARRHEAD

Type of Sampler BMH-60 Vertical 3.0

Sample Number PR-6 Sample taken by _____ Date _____

HYDROMETER ANALYSIS

DATE	TEMP. °C	TIME	ELAPSED TIME	R'_m	$R_m = R'_m + C_m$	D mm	$R_m + m_y - C_d$	%	% BASED ORIGINAL SAMPLE	REMARKS
Jul 13,78	20.0	1250	0							
		1250.5	0.5	10.7	11.7	0.079	10.2	41.0	29.7	
		1251	1	10.0	10.5	.056	9.5	38.1	27.1	
		1252	2	9.3	9.8	.040	8.8	35.3	25.1	
		1254	4	8.5	9.0	.029	8.0	32.1	22.9	
		1258	8	7.6	8.1	.020	7.1	28.5	20.3	
		1305	15	6.5	7.0	.015	6.0	24.1	17.2	
		1320	30	—	—	—	—	—	—	
		1350	60	4.4	4.9	.0078	3.9	15.7	11.2	
		1550	180	3.8	4.3	.0046	3.3	13.2	9.4	
Jul 14,78		0850	1200	2.7	3.2	.0018	2.2	8.8	6.3	

Analysed by _____ Computed by _____ Checked by _____

HYDROMETER NUMBER 75304

$m_y = \frac{100}{w_s} \cdot \frac{G}{G-1} \cdot (R_m + m_y - C_d)$ = 4.015 $(R_m + m_y - C_d)$

MENISCUS CORRECTION = C_m = 0.5 SPECIFIC GRAVITY OF SOLIDS = G = 2.65

DISPERSING AGENT USED Calgon AMOUNT 1.0 gm.

C_d = 1.0 = CORRECTION FOR INCREASE IN DENSITY OF LIQUID DUE TO ADDITION OF DISPERSING AGENT m_y = —

DESCRIPTION OF SAMPLE _____

METHOD OF PREPARATION _____

REMARKS _____

WEIGHT SAMPLE AND DISH (DRY) gm. 781.7

WEIGHT DISH gm. 255.6

WEIGHT SAMPLE gm. 526.1

SIEVE ANALYSIS AFTER HYDROMETER ANALYSIS

SIEVE NO.	SIZE OF OPENING mm	WEIGHT RETAINED gm.	TOTAL WT. FINER THAN gm.	PERCENT FINER THAN	% FINER THAN BASED ORIG. SAMPLE
	16.000	—	526.1	—	100.0
	8.000	74.1	451.7	—	85.8
8	4.000	50.8	400.9		76.2
10	2.000	76.2	374.7		71.2
18	1.000	7.7	142.3	94.9	67.6
35	0.500	25.1	117.2	78.1	55.6
45	0.350	32.0	85.2	56.8	40.4
60	0.250	17.7	67.5	45.0	32.0
80	0.177	1.9	65.6	43.7	31.1
120	0.125	1.1	64.5	43.0	30.6
PASS 120	0.063	2.5	62.0	41.3	29.4

DRY WEIGHT OF SAMPLE BEFORE WASHING 150.0 gm.

DRY WEIGHT OF SAMPLE AFTER WASHING 88.1 gm.

DRY WEIGHT OF SAMPLE PASSING NO. 230 61.9 gm.

Figure 17. Analyse à l'hydromètre et analyse au tamis après analyse à l'hydromètre.

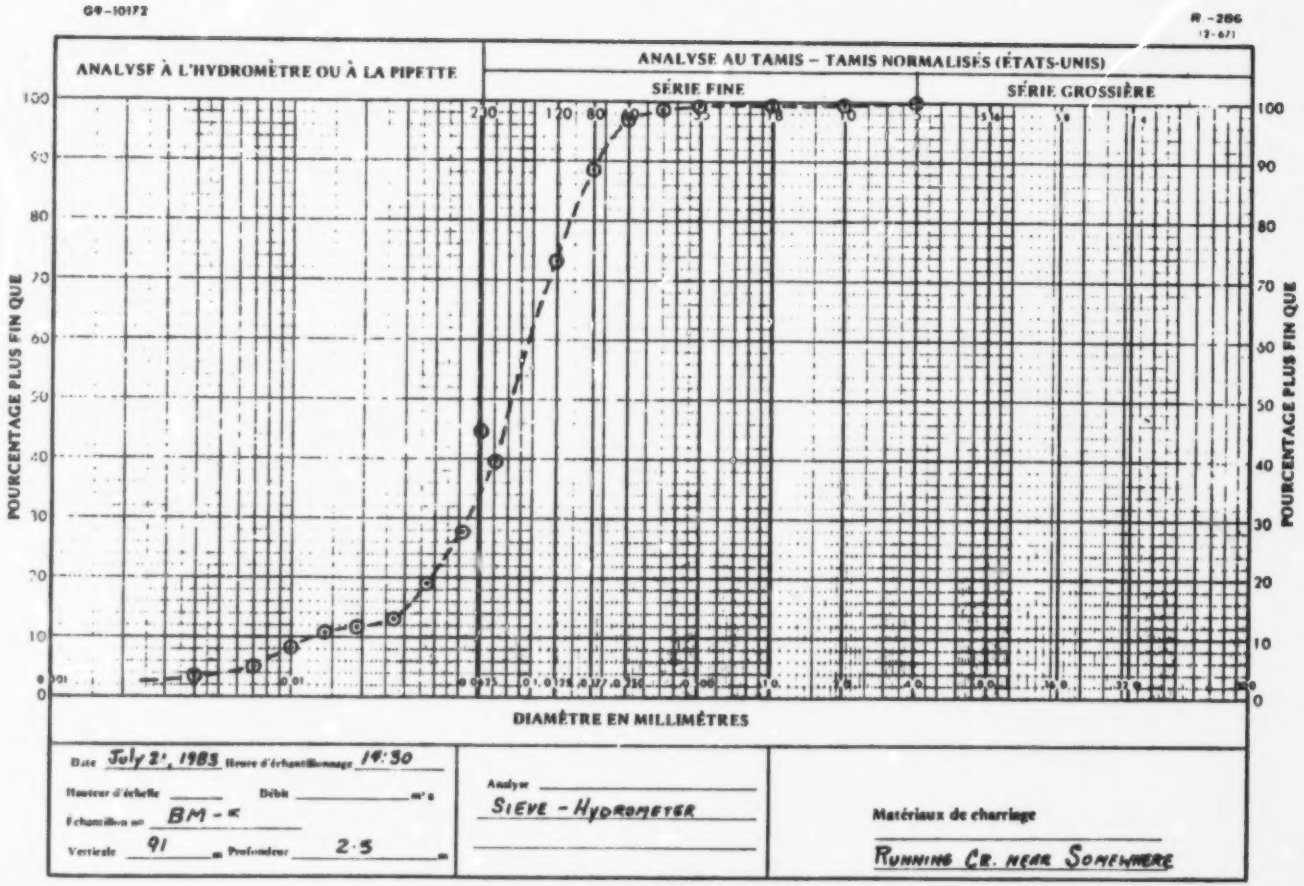


Figure 18. Courbe de répartition granulométrique des matériaux de charriage.

8.9 Analyse au tamis par voie humide

En utilisant une fraction de l'échantillon de matériaux de charriage, généralement 150 g, dans l'éprouvette graduée, et (ou) une fraction représentative plus grande de l'échantillon original, déterminer la répartition granulométrique pour les particules plus grandes que 0.063 mm. Pour cela, passer l'échantillon par voie humide au tamis n° 230, et laisser sécher les matériaux. L'échantillon séché est ensuite placé sur le tamis oscillant pendant 10 min pour le tamisage à travers une série de cribles. Cette série compte généralement 6 tamis, par ex. numéro 230 (0.063 mm), numéro 120 (0.125 mm), numéro 80 (0.177 mm), numéro 60 (0.250 mm), numéro 35 (0.500 mm) et numéro 18 (1.00 mm). Le poids de matériaux retenu sur chaque tamis est noté et on calcule le pourcentage du total que cela représente. Une courbe de répartition granulométrique est tracée à l'aide des valeurs «% plus fin que» provenant de l'analyse au tamis par voie humide.

8.9.1 Méthode pour l'analyse au tamis par voie humide

1. Immerger le tamis dont la maille est la plus grande, 2.000 mm, dans un récipient renfermant de l'eau distillée, jusqu'à ce que l'eau recouvre d'environ 0.6 cm le tamis.

2. Laver avec de l'eau distillée l'échantillon sur le tamis, et agiter vigoureusement jusqu'à ce que toutes les particules plus petites que la maille du tamis aient passé à travers celui-ci.

3. Transférer les matériaux avec l'eau de lavage dans le prochain tamis de maille plus petite, et verser à nouveau de l'eau distillée; répéter cette opération jusqu'au tamis qui a la maille la plus petite, soit 0.062 mm.

4. Transférer le matériau restant sur chaque tamis dans un contenant taré. Sécher et peser chaque fraction.

8.10 Analyse au tamis à sec

L'analyse au tamis par voie sèche est une méthode très pratique pour déterminer la répartition granulométrique au-dessus de la taille de 0.063 mm. Cette méthode est la technique la plus simple pour l'étude granulométrique et elle nécessite un équipement minimal. Les matériaux passent à travers une série de tamis, et le poids retenu sur chaque tamis est noté; on calcule ensuite le pourcentage du total. Enfin, on trace une courbe de répartition granulométrique en utilisant les valeurs «pourcentage plus fin que» obtenues par cette méthode.

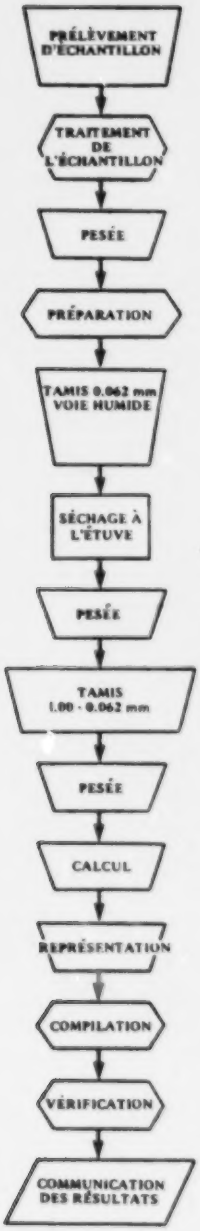


Figure 19. Diagramme de l'analyse des matériaux de charriage, au tamis par voie humide.

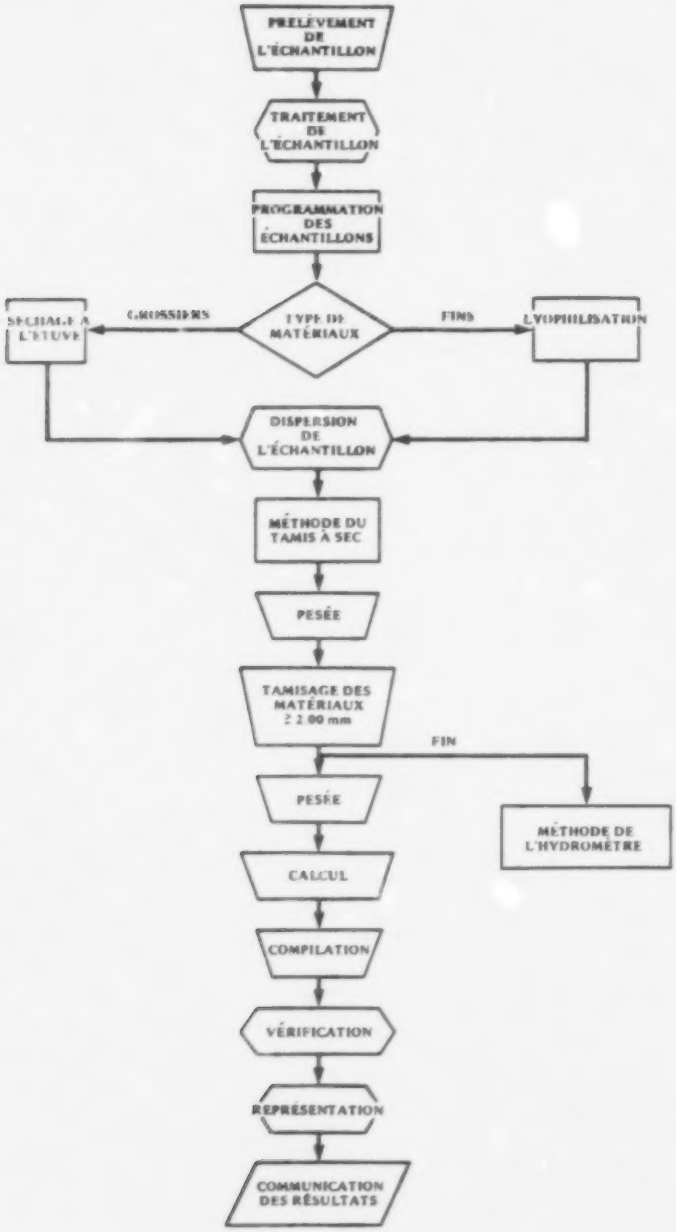


Figure 20. Diagramme d'analyse des matériaux de charriage sur tamis à sec.

8.10.1 Méthode pour l'analyse au tamis à sec

1. Sécher l'échantillon soit à l'étuve pour les matériaux grossiers, ou par lyophilisation si l'échantillon est constitué principalement de matériaux fins.

2. Noter le poids de l'échantillon.

3. Désagréger l'échantillon à l'aide d'un mortier et d'un pilon pour qu'il retrouve son état initial.

4. Transférer l'échantillon séché sur une batterie de tamis grossiers. Cette batterie peut comprendre 5 tamis, à mailles de 32 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, et 2 mm par exemple, et un bac. Le tamis le plus grossier doit toujours avoir une maille deux fois plus grande que la particule la plus grosse présente dans l'échantillon de matériaux. Les particules retenues sur le tamis le plus grossier doivent être triées en groupes par mesure des axes a, b et c, puis pesées.

5. Installer la batterie de tamis grossiers sur un agitateur pendant au moins 15 min.

6. Noter le poids du contenant de l'échantillon à vide.

7. Transférer les matériaux retenus sur chaque tamis dans un contenant préalablement pesé. Les tamis doivent être brossés délicatement pour déloger toute particule retenue dans la maille du tamis.

8. Noter le poids de la fraction de l'échantillon retenue sur chaque tamis.

   Si plus de 200 g de matériaux passent au tamis n° 10 (2.000 mm), la fraction de l'échantillon retenue sur le bac doit être tamisée à l'aide d'une batterie de tamis fins. Transférer la fraction de l'échantillon recueillie dans le bac sur une batterie de tamis fins. Cette batterie est généralement constituée de 9 tamis, par ex. n° 230 (0.063 mm), n° 120 (0.125 mm), n° 80 (0.177 mm), n° 60 (0.250 mm), n° 45 (0.350 mm), n° 35 (0.500 mm), n° 18 (1.000 mm), n° 10 (2.000 mm) et n° 5 (4.000 mm), et d'un bac collecteur. La maille la plus grande doit toujours avoir le double de la taille de la plus grande particule présente dans l'échantillon de matériaux.

9. Installer la batterie de tamis sur un secoueur pendant au moins 15 min.

8.10.2 Relevé des résultats de l'analyse au tamis à sec

1. Transférer les matériaux retenus sur chaque tamis dans un contenant préalablement pesé. Noter le «poids brut» de l'échantillon et du contenant. Noter le poids à vide du contenant (figure 21).

2. Calculer le «poids retenu» ou le poids de matières en soustrayant la colonne B de la colonne A. Noter ensuite cette valeur dans la colonne C.

3. Calculer le «poids plus fin que» et le noter dans la colonne D. Le «poids plus fin que» pour le tamis n° 230 est le «poids recueilli» dans le bac, alors que le «poids plus fin que» pour le tamis n° 120 est le «poids recueilli» dans le bac plus le «poids retenu» sur le tamis n° 230. Continuer ce calcul jusqu'à ce que le «poids plus fin que» soit égal au «poids d'échantillon» utilisé.

4. Calculer le pourcentage que le «poids plus fin que» représente par rapport au «poids d'échantillon» utilisé, et reporter la valeur dans la colonne «pourcentage plus fin que la taille indiquée», soit la colonne E.

5. Représenter sur le graphique R286 (figure 22) les valeurs «pourcentage plus fin que la taille indiquée» pour chaque «taille» de tamis correspondante, sous forme de «pourcentage plus fin que» en fonction du «diamètre en millimètres».

Analyse au tamis

Cours d'eau _____ Station n° _____ Échantillon n° _____

Échantillonné par _____ Date _____ Heure _____ Temp. _____ °c

Hauteur d'échelle _____ m Type d'échantillonneur _____ Profondeur de l'échantillon _____ m

Tamis (mm)	Tamis (numéro)	Poids brut (g)	Poids à vide (g)	Poids retenu (g)	Poids plus fin que (g)	Pourcentage plus fin que la taille indiquée	Taille (mm)
		A	B	C	D	E	
32.0	1 1/4						32.0
16.0	5/8						16.0
8.00	5/16						8.00
4.00	5						4.00
2.00	10						2.00
1.000	18						1.000
0.500	35						0.500
0.350	45						0.350
0.250	60						0.250
0.177	80						0.177
0.125	120						0.125
0.0625	230						0.0625
PAN							

Bouteille d'échantillon _____ g Description de l'échantillon _____

_____ g _____

Poids de l'échantillon _____ g Méthode de préparation _____

_____

_____

Lab. | Analysé par | Date | Calculé par | Date | Vérifié par | Date

Figure 21. Analyse des matériaux de charriage au tamis à sec.

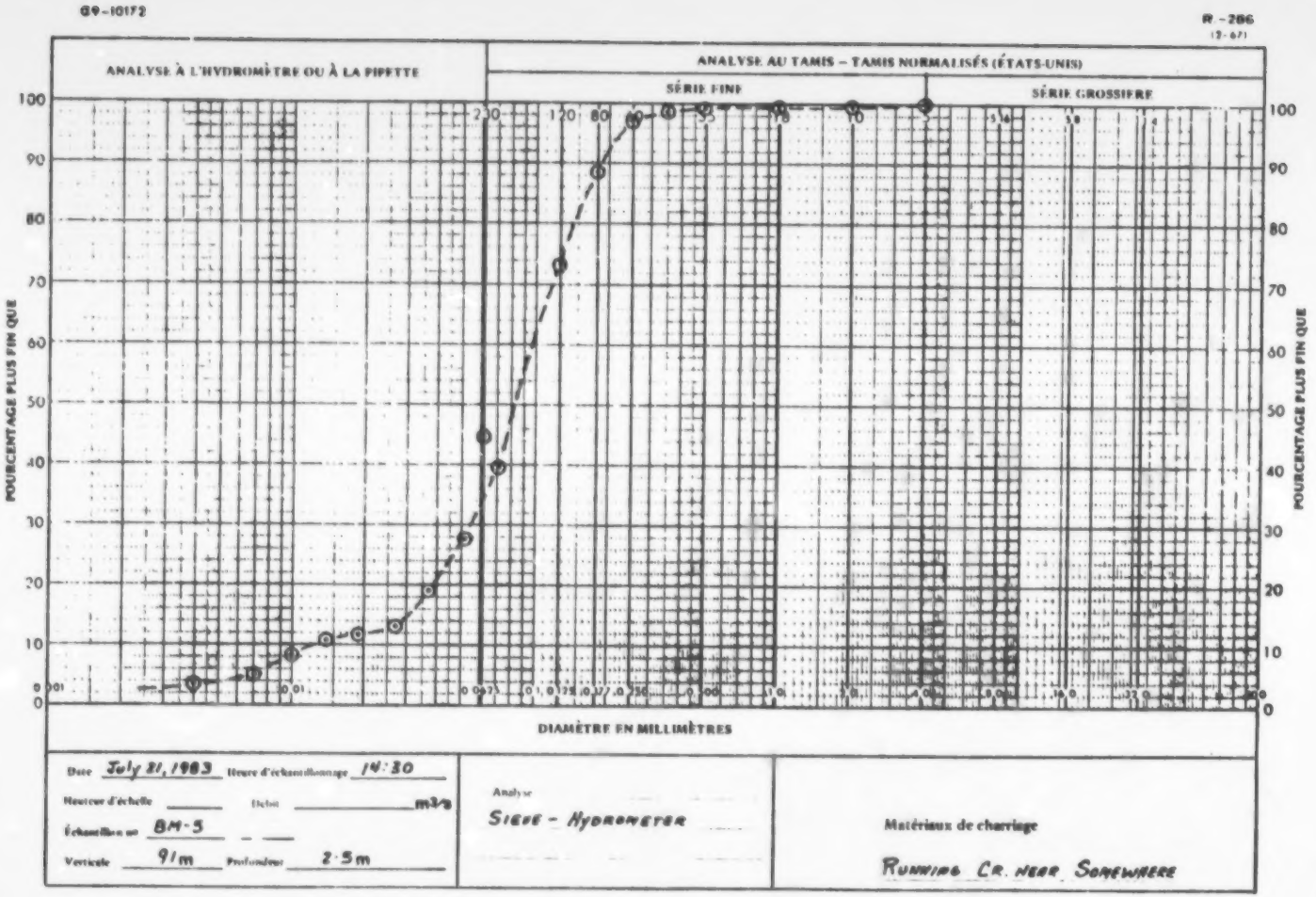


Figure 22. Courbe de répartition granulométrique pour les matériaux de charriage.

8.11 Résultats pour les matériaux de charriage : sommaire

1. Il faut remplir la formule «Résultats d'analyse des matériaux de charriage» (figure 23), et en envoyer une copie à l'organisme concerné.

   a) date
   b) heure
   c) type d'échantillonneur
   d) lieu d'échantillonnage
   e) profondeur de la rivière
   f) température de l'eau.

2. Le «poids sec total de l'échantillon» est pris dans le rapport d'analyse à l'hydromètre ou d'analyse au tamis à sec.

3. Le «pourcentage plus fin que la grosseur indiquée en millimètres» est pris dans la colonne «% d'échantillon original de base» de l'analyse à l'hydromètre (figure 17). Les résultats de l'analyse au tamis à sec sont transférés dans les colonnes appropriées du diamètre des trous en millimètres.

4. La valeur pour le «% argile < 0.004 mm» est obtenue sur la courbe au point où cette courbe coupe le «diamètre du pourcentage plus fin que, en millimètres».

5. La valeur pour le «% limon 0.004 à 0.062 mm» est calculée en tant que différence entre la valeur à 0.062 mm et la valeur lue sur la courbe à l'étape 5.

Fisheries and Environment Canada / Pêches et Environnement Canada

Water Resources / Ressources en eau

Bed Load Material Analysis Results/Résultats d'analyse de Charriage Matériaux de fond ____ Station No/N° de la station ____ For the year/Pour l'année 19__

Date	Time Heure	Type of Sampler Type d'échan tillonneur	Sample location Lieu de l'échan tillon	River Depth Profond de la rivière	Temp °C	Total Sample Dry Weight Poids sec total de l'échan (g)	Percentage finer than indicated size. Opening in Millimetres. Pourcentage plus fin que la grosseur indiquée. Diamètre des trous en millimètres												% Silt 0.004 to/à 0.062 mm % du limon	% Clay <0.004 mm % d'argile
							.016	.031	.062	0.125	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.0	32.0	64.0	

Computed by/Calculé par ____ Date ____ Checked by/Vérifié par ____ Date ____

067 2188 (11/77) 11275

Figure 23. Résultats de l'analyse des matériaux de charriage.

9. ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE D'ÉCHANTILLONS DE CHARRIAGE DE FOND

La méthode la plus courante pour l'analyse granulométrique d'échantillons de charriage de fond est celle du tamisage à sec. Cette méthode est très pratique pour l'analyse granulométrique des particules plus grosses que 0.063 mm. Le tamisage à sec est la méthode la plus simple pour l'analyse granulométrique, et elle nécessite un minimum d'équipement. On note le poids des matériaux retenus sur chaque tamis, et on calcule le pourcentage du total. Une courbe de répartition granulométrique est ensuite tracée à l'aide des valeurs «pourcentage plus fin que» obtenues dans l'analyse par tamisage à sec.

9.1 Équipement d'analyse pour le charriage de fond

1. Dispositif pour secouer les tamis : agitateur électrique permettant de brasser une batterie de tamis, en assurant une répartition uniforme des matériaux sur toute la surface du tamis.

2. Batterie de tamis, avec bac collecteur. Une série est généralement constituée des tamis n° 230 (0.063 mm), n° 120 (0.125 mm), n° 80 (0.177 mm), n° 60 (0.250 mm), n° 35 (0.500 mm), n° 18 (1.000 mm), n° 10 (2.000 mm), n° 5 (4.000 mm), 5/16" (8.000 mm), 5/8" (16.000 mm) et 1 1/4 (32.000 mm).

   Pour les matériaux graveleux plus gros que 32 mm, il est possible qu'il faille utiliser des tamis de 64, 128 ou 256 mm. S'il n'y a pas de tamis correspondant à cette taille, les particules plus grosses doivent être triées en groupes après mesure des axes a, b et c, et le poids de chaque groupe doit être noté.

3. Balance à plateau supérieur, pouvant peser de 0 à 10 000 g, avec une précision de 0.5 g, pour les matériaux retenus sur le tamis de 1 1/4" (32.000 mm), et pour les matériaux restant dans le bac.

4. Contenants préalablement pesés.

5. Brosses pour détacher les matériaux des tamis.

9.2 Méthode d'analyse pour le charriage de fond

1. Les données suivantes a) à f) sont transférées de la formule de relevé sur le terrain à la formule des résultats de l'analyse du charriage de fond (figure 24).

   a) date
   b) heure
   c) type d'échantillonneur
   d) lieu d'échantillonnage
   e) profondeur de la rivière
   f) température.

2. Noter le «poids sec» total de l'échantillon.

3. Enlever toutes les matières organiques, comme les morceaux d'écorce ou de bois, et noter cette information dans le sommaire des résultats du laboratoire.

4. Enlever les gros galets et cailloux à la main; peser, et mesurer l'axe à l'aide de compas; noter les résultats sur la feuille de sommaire (voir classification des matériaux, section 2.4).

5. Placer la batterie de tamis sur le secoueur, les tamis étant disposés par ordre de grosseur de maille décroissante de haut en bas. Placer le bas sous le dernier tamis du bas.

6. Verser l'échantillon sec dans le tamis du haut; fixer solidement le couvercle et faire marcher le secoueur pendant 15 min.

7. Vider le contenu de chaque tamis dans un contenant taré.

8. Déloger les grains en tapotant délicatement le bord du tamis.

9. Passer délicatement dans l'axe de la diagonale une brosse à tamis de façon à bien faire traverser toutes les particules plus fines que la maille.

   NOTE : NE JAMAIS FORCER UN GRAIN À TRAVERS LA MAILLE DU TAMIS.

10. Peser le contenant à 0.1 g près. Soustraire le poids du contenant, et noter le poids des matériaux.

11. Calculer et noter le «pourcentage plus fin que» sous forme de % du «poids total de l'échantillon».

12. Calculer et noter le «pourcentage plus fin que l'échantillon original de base».

    Le «pourcentage plus fin que la grosseur indiquée, diamètre des trous en millimètres» est pris dans la colonne «% de l'échantillon original de base» de l'Analyse au tamis, et est transféré dans la colonne appropriée de la taille des trous en millimètres.

13. On représente sur le graphique les valeurs correspondant aux trous des tamis, et on trace une courbe de répartition granulométrique passant par les points obtenus (figure 25).

Bed Load Material Analyse Results/Résultats d'analyse de Charriage Materiaux de fond FRASER RIVER AT MARGUERITE Station No/N° de la station OBMCO1B For the year/Pour l'année 19 79

Date	Time Heure	Type of Sampler Type d'échantillonneur	Sample location Lieu de l'échantillon	River Depth Profond. de la rivière	Temp. °C	Total Sample Dry Weight Poids sec total de l'échan. (g)	Percentage finer than indicated size. Opening in Millimetres / Pourcentage plus fin que la grosseur indiquée. Diamètre des trous en millimètres												% Silt 0.004 to 0.062 mm % de limon	% Clay <0.004 mm % d'argile
							.016	.031	.062	0.125	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.0	32.0	64.0	
Jan 21	2040	ARN	6~	7·5	13·0	21·0			1·0	2·0	5·0	77·0	92·0	98·0	100					
	2104		100	7·9		982·1							1·0	1·0	2·0	19·0	60·0	100		
	2118		128	8·0		2813·1					3·0	4·0	5·0	7·0	22·0	51·0	99·0	100		
	2134		165	8·5		1641·9					3·0	46·0	79·0	89·0	95·0	95·0	96·0	97·0	100	
	2150		201	8·2		150·1			1·0	2·0	13·0	95·0	99·0	99·0	100					

Computed by/Calculé par _____ Date _____ Checked by/Vérifié par _____ Date _____

067-2168 (11/77) R275

Figure 24. Résultats de l'analyse du charriage de fond.

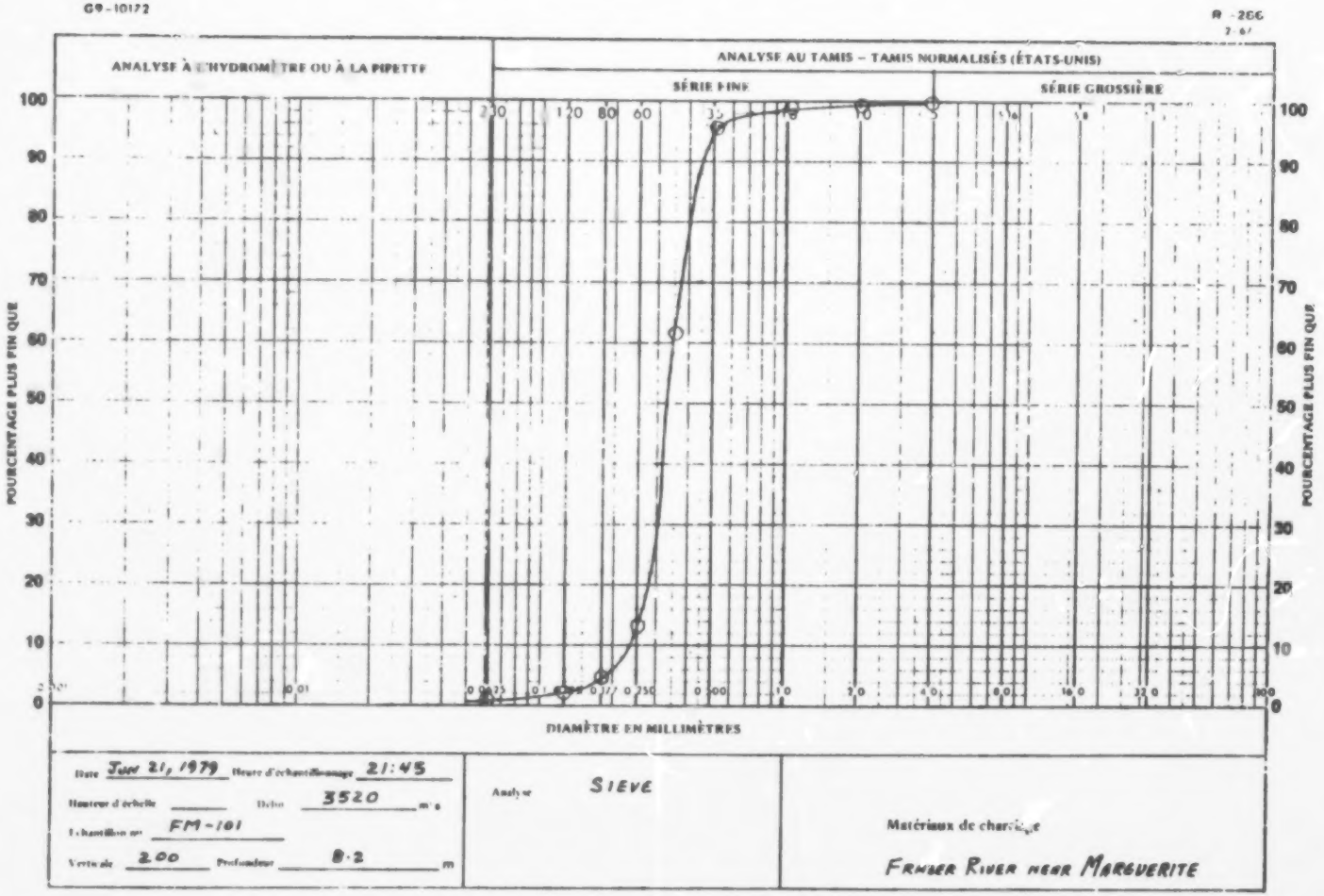


Figure 25. Courbe de la répartition granulométrique du charriage de fond.

RÉFÉRENCES

A New Computations Procedure for BWTA - by C.S. Lam, Environnement Canada, American Water Resources Association. Vol. 18, No. 3, juin 1982.

ASCE - Manuals and Reports on Engineering Practice - No. 54; American Society of Civil Engineers, Vito A. Vanoni, Editor.

ASTM - American National Standard for Particle Size Analysis of Soils, D422-63 (Re-approved 1972).

ASTM - American National Standard Specification for Hydrometers, E 100-81.

ASTM - American National Standard Method for Inspection, Test and Standardization of Hydrometers, E 126-76.

Dolan, E.F. et M.A. Cashman, Evaluation of Lyophilization Method of Disaggregating Sand, Silt and Clay. Étude n° 106, Série des rapports techniques, DGEI, DRE, 1978.

Guy, H.P., Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey, Chapter C1, Laboratory Theory and Methods for Sediment Analysis - Harold P. Guy.

Means, R.E. et Parcher, J.V., Physical Properties of Soils, Merrill Book Inc., Columbus, Ohio, 1963, p. 58.

McIlhinney, J.L. et Cashman, M.A., Procedure for BWTA System, DGEI, DRE, août 1984.

Reay, M., Physical Laboratory Manual. Geography Department, University of Canterbury, 1971.

U.S. Inter-Agency Report 4, 1941, Methods of analyzing sediment samples: U.S. Army Corps of Engineers, Iowa City, Iowa.

U.S. Inter-Agency Report 7, 1943, A study of new methods for size analysis of suspended sediment samples: U.S. Army Corps of Engineers, Iowa City, Iowa.

U.S. Inter-Agency Report 10, 1953, Accuracy of sediment size analyses made by the bottom-withdrawal-tube method: U.S. Geol. Survey, Minneapolis, Minn.

U.S. Inter-Agency Report 11, 1957, The development and calibration of the visual-accumulation tube: U.S. Geol. Survey, Minneapolis, Minn.

U.S. Inter-Agency Report 12, 1957. Some fundamentals of particle-size analysis: U.S. Geol. Survey, Minneapolis, Minn.

U.S. Inter-Agency, Laboratory Chapter of Sediment Manual. Unpublished Reference.

Yungwirth, R.H., Sediment Laboratory Techniques Workshop Manual, Internal Manual, DGEI, DRE, mai 1983.